

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 Strojírenství

Strojírenská technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Zjišťování diagramů mezních přetvoření materiálu H220PD

Finding forming limit diagrams for material H220PD

Jakub Štros

KSP – TP – B47

Vedoucí bakalářské práce : Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce : Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 43

Počet tabulek : 1

Počet příloh : 3

Počet obrázků : 39

Datum : 23.5.2008

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program : B2341 Strojírenství
Student : Jakub Štros
Téma práce : Zjišťování diagramů mezních přetvoření materiálu H 220PD

Finding forming limit diagrams for material H220PD

Číslo BP: KSP – TP – B47
Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph. D.
Konzultant: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá problematikou metodiky určování diagramu mezních přetvoření pro vybrané stavy napjatosti u hlubokotažného materiálu H220PD s tloušťkou 2,1 mm. Měření bylo prováděno pomocí dílenského mikroskopu a systému ARGUS 4M. Výsledné hodnoty byly navzájem porovnány a vyhodnoceny.

Abstrakt:

The Baccalaureate work analyses methods of making forming limit diagram special states of principal stress of deep-drawing press material H 220PD with thickness 2,1 mm. The measurement was practiced on the workshop microscope and system ARGUS 4M. The consequential were respectively compared and evaluated.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 23. května 2008

.....

Jakub Štros

Poděkování

Na začátku této práce bych rád poděkoval Ing. Pavlu Doubkovi, Ing. Pavlu Solfronkovi a ostatním členům katedry strojírenské technologie za odborné rady a pomoc při vypracování bakalářské práce.

Obsah

1. ÚVOD	8
2. TVARITELNOST KOVŮ	9
3. TRENDY VE VÝVOJI STAVBY KAROSÉRIÍ	10
3.1. Vývoj karosérie do dnešní doby	10
3.2. Nynější rysy karosérie	12
3.2.1. Materiály v automobilovém průmyslu	12
3.2.1.1. Používané plechy v automobilovém průmyslu	12
3.2.2. Pevnostní ocelové plechy	14
3.2.3. Programově deformovatelná karoserie	14
3.3. Budoucnost vývoje stavby karosérií	16
3.4. Konstrukce	16
3.4.1. Podvozková karosérie	17
3.4.2. Samonosná karosérie	17
3.4.3. Polonosná karosérie	18
4. HODNOCENÍ MEZNÍCH STAVŮ MATERIÁLŮ	18
4.1. Metoda sítí	19
4.1.1. Metodika hodnocení - definice mezního stavu přetvoření	19
4.2. Přehled základních metod určování diagramů mezních přetvoření	22
4.2.1. Využití diagramu mezních přetvoření v analýze přetvoření	23
4.3. Experimentální určení	24
5. OPTICKÁ ANALÝZA DEFORMACÍ	25
5.1. Optický systém ARGUS	25
5.2. Optický systém ARAMIS	26
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
6.1. Vlastnosti a složení použitého materiálu	29
6.2. Příprava vzorků	29
6.3. Použité měřicí metody	31
6.3.1. Měření pomocí dílenského mikroskopu	31
6.3.2. Měření pomocí optického systému ARGUS 4M	33
7. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU	37
8. ZÁVĚR	40
POUŽITÁ LITERATURA	41
SEZNAM PŘÍLOH	43

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

4M	rozlišení CCD čipu	
a, b, c	regresní koeficienty	[-]
A ₈₀	smluvní tažnost za mezí pevností	[%]
b	šířka vzorku	[mm]
DMP	diagram mezních přetvoření	
e _{MAX} , e _{MIN}	poměrná (technologická) deformace	[-]
FLC	Forming limit curve (křivka mezního přetvoření)	
FLD	Forming limit diagram (DMP)	
k, l	poloměry hlavních os sledovaných elementů	[mm]
KMP	křivka mezních přetvoření	
L ₀	počáteční rozměr výchozího elementu	[mm]
L ₁ , L ₂	rozměry hlavních os sledovaných elementů	[mm]
m _φ	ukazatel stavu přetvoření	[-]
m _σ	ukazatel stavu napjatosti	[-]
n ₉₀	Zpevnění kovu tvářením za studena	
PMP	pásma mezních přetvoření	
r ₀	počáteční poloměr výchozího elementu	[mm]
r ₉₀	Anizotropie ve svislém směru	
R _m	mez pevnosti	[MPa]
R _p	mez kluzu	[MPa]
T	teplota	[°C]
T _{tav}	teplota tání	[°C]
ε _{MAX} , ε _{MIN}	skutečná (logaritmická) deformace	[-]
φ _{k1} , φ _{k2}	hlavní kritické normálové přetvoření	[-]
φ ₁ , φ ₂	skutečná deformace	[-]

1. ÚVOD

Oblast tváření kovů je jednou z velmi významných technologií, která je v širokém rozmezí uplatňována v dnešní strojírenské výrobě. Při tváření dochází ke změně tvaru a vlastností za působení vnějších sil, které způsobí plastické přetvoření a trvalou změnu původního materiálu.

V dnešní době, kdy se stále více vyvíjejí modernější materiály je i obor tváření donucen se stále dynamicky vyvíjet. V oblasti automobilového a leteckého průmyslu se uplatňuje především technologie plošného tváření. V obou těchto odvětvích je důležité a potřebné dosáhnout co nejvíce bezpečných a spolehlivých konečných výrobků. Kde na konci procesu tváření musí daný díl např. karosérie vykazovat určité předdefinované vlastnosti. Pro stanovení těchto vlastností je potřeba vykonat mnoho zkoušek, které nám poví, zda dané procesy tváření a dané použité materiály jsou vhodné k použití. Z těchto důvodů se bakalářská práce zabývá určením diagramů mezních přetvoření, které tvoří podstatnou část v posuzování daného procesu tváření.

2. TVÁŘITELNOST KOVŮ [1,2,3]

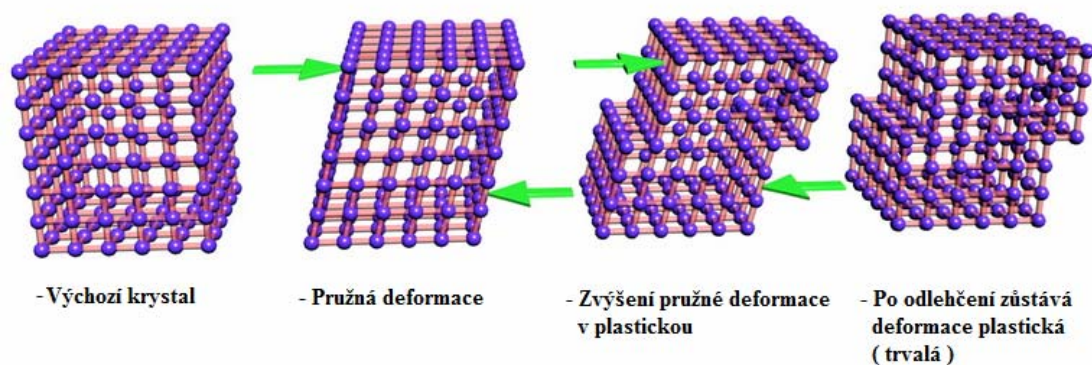
Tvářitelnost je vlastnost materiálu tvářet se nevratně bez makroskopického porušení. Tvářitelnost daného materiálu závisí především na teplotě tvářeného materiálu a stavu napjatosti. Při větších teplotách se dá dosáhnout u běžných materiálů vyšších hodnot tavitelnosti.

Kovové materiály mají tzv. deformační schopnost, které charakterizuje způsobnost materiálu měnit svůj tvar a rozměry za působení vnějších sil. Silové působení mění vzájemné polohy atomů v mřížce, ze kterých se těleso skládá, při nichž dochází k pružné i plastické deformaci.

Při pružné deformaci dochází pod vlivem působení vnějších sil ke změně tvaru a rozměru, ovšem po ukončení účinku působící síly dochází k navrácení do původního stavu. Proto má tato deformace velký význam především pro pevnostní výpočty.

Rozhodující pro tváření je však plastická deformace. Obecně pro pevná tělesa platí, že jejich meziatomární síly jsou v rovnováze a těleso si tak bez působení vnějších sil zachovává svůj tvar a rozměry. K docílení plastické deformace je nutné využít účinky vnějších sil, jejichž účinky zapříčiní změnu rozměru a jsou trvalé Obr. 2.1. . Tato schopnost materiálů probíhající bez porušení sil soudržnosti se nazývá plastičnost. Trvalé rozměrové změny jsou doprovázeny změnami ve struktuře polykrystalických materiálů a pružnými deformacemi.

Opakem plastičnosti je křehkost, při které vlivem působení vnějších sil dochází k porušení soudržnosti materiálu bez předchozího plastického přetvoření.

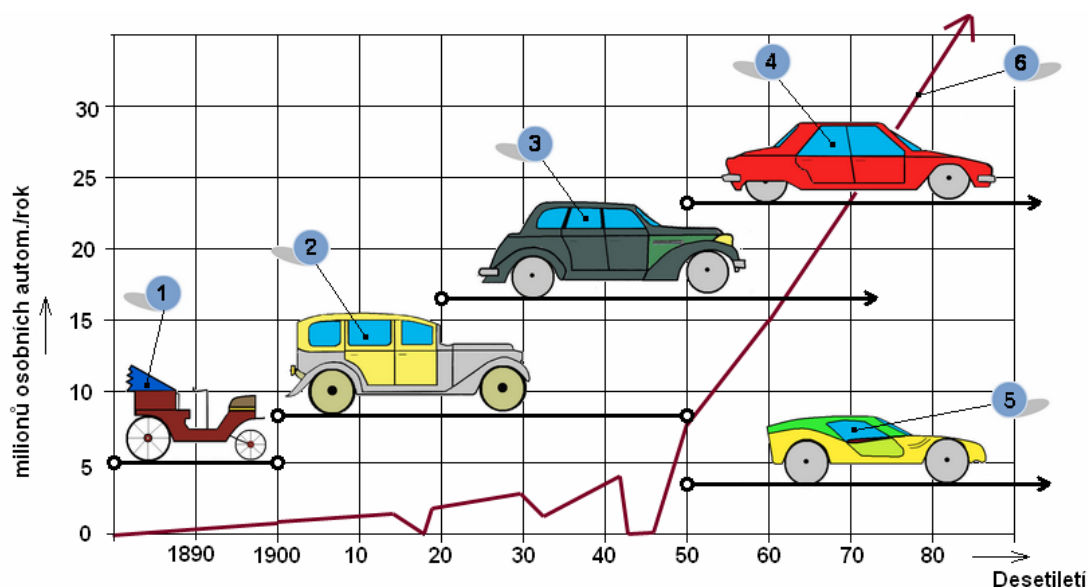


Obr. 2.1. Schéma pružné (elastické) a trvalé (plastické) deformace

3. TRENDY VE VÝVOJI STAVBY KAROSÉRIÍ

3.1. Vývoj karosérie do dnešní doby [4,5]

Od prvního vzniku karosérie i ona prodělala svůj vývoj a v různých údobích měla zřetelné charakteristické znaky. Vývoj karosérie do dnešní doby lze rozdělit do několika etap, viz. Obr 3.1. .



Obr 3.1. – Vývojová údobí karosérie a počet prodaných automobilů
1 – celodřevěná, 2 – kompozitní, 3 – celokovová podvozková, 4 – samonosná celokovová, 5 – plastická,
6 – světová výroba osobních automobilů

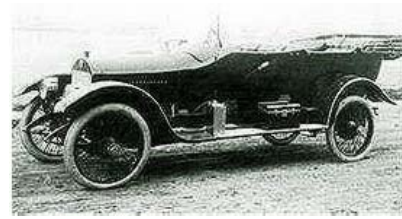
Do roku 1900 mají prvotní automobily těžkou vozovou korbou ze surového dřeva, hrubě okovanou plachtou. Pro osobní dopravu se korba tvarově zušlechťovala a záhy vznikl kočár. Od počátku 80. Století měly kočáry pevnou střechu. Za tohoto stavu byl do kočáru zamontován parní a později výbušný motor, zadní náprava jako hnací, u přední nápravy odstraněna oj a kola opatřena řízením. Tím se ze spodku kočáru stal podvozek a jeho horní část karosérie automobilu. Od roku 1901 do 1918 Na začátku tohoto údobí mizí typická forma kočáru a karosérie dostává svůj charakteristický tvar, zdůrazněný především chladičem.

Tehdy totiž ještě nebyla maska chladiče a kapota, přední blatník a příčná stěna byly součástí podvozku. Kapota byla z části nízká a krátká. Pokud jde o typ karosérie, automobil začínal s otevřenou karosérií, u níž v prvních dobách nebylo vůbec okno před řidičem a sklápěcí střecha Obr. 3.1.1. . Karosérie byla ještě dlouho dřevěná,



Obr. 3.1.1. L & K

z plechu byly z počátku jen blatníky, kapota a později skříně na stupačkách. Použití plechu na ostatní součásti se jen zvolna rozšiřovalo a tak se karosérie měnily z celodřevěných na kompozitní, tj. s dřevěnou oplechovanou kostrou Obr. 3.1.2. a až na celokovové. Od roku 1918 do roku 1947 se vzrůstajícími požadavky na jízdní vlastnosti podvozku vznikají nové nároky na karosérii a to jak na její koncepci, tak zvláště na pohodlí jízdy, konstrukce a vzhled. I když první karosérie na počátku tohoto rozvoje nejsou nijak líbivé, začínají se později jejich tvrdé tvary změkčovat a uplatňuje se nižší silueta s táhlými blatníky a to nejen u speciálních, ale i sériových karosérií Obr.3.1.3. . Již v letech 25 až 30 se projevil značný odklon od otevřených k uzavřeným karosériím. V těchto letech dále vznikaly a zanikaly různé kombinace v použitém materiálu, které měly rozhodující vliv na stavbu karosérie. Z původní celodřevěné konstrukce vznikala konstrukce Weyman (dřevěná kostra potažená koženkou), konstrukce DKW (dřevěná kostra pobitá tvarovou překližkou a potažená rovněž umělou koženkou). Největšího rozšíření doznala v této době karosérie kompozitní, jejímu udržení pomohlo i rozvíjející se technologie lisování, zlepšující se jakost hluboko tažných plechů a vývoj mechanických lisů. Rovněž technologie odporového svařování je na postupů a přechází se na bodové svařování. Tyto okolnosti způsobily, že se neustále zmenšoval podíl dřeva v kompozitních karosériích v letech 1920 až 1925 se zcela logicky znovu objevuje celokovová plechová karosérie (Budd) viz. Kap. 3.4. Karosérie prodělala v údobí po druhé světové válce od roku 1947 rychlý vývoj v koncepci i tvaru. Rozšířily se samonosné karosérie, zvláště pro malé a střední vozy, karosérie se rozšiřuje a snižuje Obr. 3.1.4. , v letech kolem roku 1960 oprostuje od zbytečných ozdob a přichází nová kompozitní karosérie: kov a plastický materiál.



Obr. 3.1.2. L & K SE (1913)



Obr.3.1.3. L & K MK (1921)



Obr. 3.1.4. TATRA 600 (1951)

3.2. Nynější rysy karosérie

Samotný proces výroby automobilu je dnes přinucen pod tržním tlakem se neustále měnit podle požadavků trhu.

Karoserie tvoří design automobilu, ale také rozhoduje o jeho užitných vlastnostech. Velkou měrou se podílí na životnosti automobilu a svou kvalitou a způsobem použití vhodných materiálů viz. Kap. 3.2.1. ovlivňuje bezpečnost cestujících. Už na prvním pohledu na karosérii vozidla je zřejmé, že osobní automobily používají samonosnou karosérii viz. Kap. 3.4.1.2., která je tvořena řadou složitých a tvarově náročných částí

3.2.1. Materiály v automobilovém průmyslu [6]

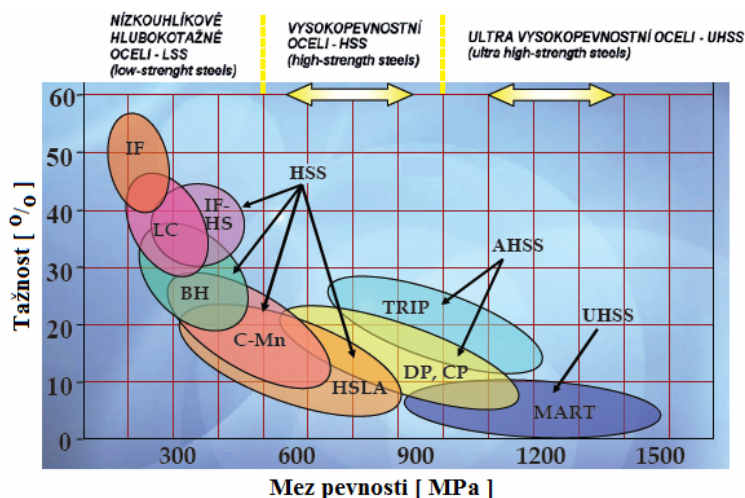
Vývoj stále nových karosérií využívá poznatky z nově získávaných či změněných materiálů. Nejběžnějším materiálem použitým pro stavbu karoserie je ocel, ale i jiné materiály, zejména slitiny hliníku. Existují i slitiny hořčíku, plasty nebo různé typy kompozitu. Uplatnění jiných než ocelových materiálů prozatím značně pokulhává v porovnání s ocelovými materiály. Mezi důvody tak malého uplatnění alternativních materiálů patří především jejich vyšší cena v porovnání s ocelí, problémy s technologickou zpracovatelností některých materiálů či nutností užití speciální konstrukce karoserie atd.. Výše vyjmenované důvody pak často vedou ke zvýšení celkových nákladů na výrobu automobilu, které v konečném součtu nedokáží vyvážit snížení hmotnosti a s ní spojené nižší náklady na provoz vozidla. Ocelové materiály těží především ze své rozšířenosti, poměrně nízké ceny a v neposlední řadě i k poměrně dobře zvládnuté technologii zpracování ocelového plechu. Neustálý vývoj jednotlivých producentů ocelových plechů vedl k dobrému zvládnutí korozní odolnosti a vyvinutí početného sortimentu ocelí.

3.2.1.1. Používané plechy v automobilovém průmyslu [6,7,8,9]

Oceli určené pro výrobu karosérií musí dnes splňovat vysoké požadavky dané výrobcem automobilů. Materiály musí mít co nejlepší tvářitelnost při zachování nízké meze kluzu a vysoké meze pevnosti. Trend vývoje automobilů směřuje především k zajištění bezpečnosti pasažérů, ale je ovlivněn ekonomickými a ekologickými aspekty. Vysoké nároky na bezpečnost pasažérů, vzhled pohledových dílů, nízká cena atd. vedly výrobce ocelových plechů pro automobilový průmysl

k vývoji nových materiálů, které svými vlastnostmi nejvíce vyhovují požadavkům výrobců automobilů.

Jak je znázorněno na Obr. 3.2.1.1., ocelové plechy se lze dělit na :

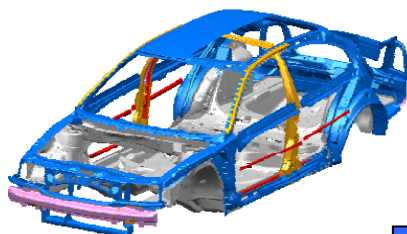


Obr. 3.2.1.1. Mechanické vlastnosti ocelových plechů

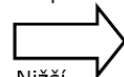
- ❖ Nízkouhlíkové hlubokotažné plechy – LSS (low – strength steels)
- ❖ Vysokopevnostní plechy – HSS (high – strength steels)
- ❖ Ultra vysokopevnostní plechy – UHSS (ultra high – strength steels)

V souladu s nejnovějšími poznatky z oblasti demontáže, recyklačních technologií a zákonných požadavků (směrnice 2000/53/EG) se optimalizuje konstrukce vozů. Preferují se demontovatelné spojovací technologie a minimalizuje se počet a sortiment spojovacích dílů. Velká pozornost se také věnuje úplnému odstranění kapalin z vozu. Snižováním a optimalizací hmotnosti vozu se přispívá k šetrnému využívání surovin a minimalizaci množství odpadu. Zvyšuje se podíl lehkých konstrukčních materiálů (neželezných kovů, pevnostních plechů Kap. 3.2.2.), které vykazují větší pevnost viz (Obr. 3.2.1.2.), Přílohy č.1 .

Octavia Tour

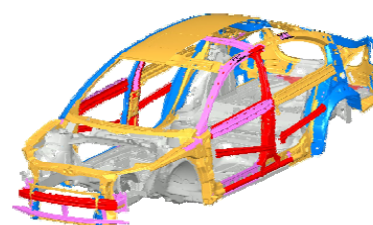


Vyšší
bezpečnost



Nižší
hmotnost

Nová Octavia



- $R_{p0,2} < 180$ MPa
- $R_{p0,2} 180-300$ MPa
- $R_{p0,2} 300-500$ MPa
- $R_{p0,2} > 500$ MPa

Obr. 3.2.1.2. Porovnání použitých plechů na karoseriích vozů Octavia

3.2.2. Pevnostní ocelové plechy [10]

Při použití redukce tloušťky ocelových plechů, ke snížení hmotnosti, která vede buď jen k menšímu nárůstu ceny dílu, nebo dokonce v některých případech i snížení ceny díky snížení hmotnosti.

Výhody používání pevnostních plechů na stavbu automobilové karosérie:

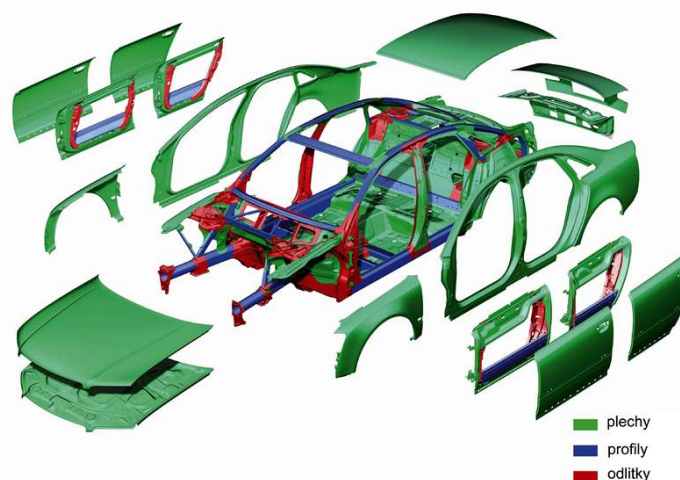
- ❖ Snížení hmotnosti
- ❖ Vyšší bezpečnost díky vyšší nárazové odolnosti
- ❖ Zlepšení odolnosti proti vrubům
- ❖ Snížení ceny z důvodu snížení tloušťky
- ❖ Zlepšení meze únavy

Mechanismy, kterými dochází ke zpevnění ocelí jsou následující:

- ❖ Zpevnění tuhosti roztoku
- ❖ Precipitační zpevnění
- ❖ Zpevnění jemnozrnnou strukturou
- ❖ Zpevnění pomocí dvou a vícefázové struktury

3.2.3. Programově deformovatelná karoserie [11,12]

Při nárazu je na karoserii automobilu kladen požadavek, aby se deformovala s co nejmenším rizikem ohrožení životů a zdraví cestujících ve vozidle. Znamená to, že by měl být po nárazu zachován prostor pro cestující bez výrazných změn. Konstrukteři z tohoto důvodu vyvinuli tzv. programově deformovatelnou karoserii, která má všechny své části vyrobené z plechů různé tloušťky, z různých profilů, odlitků, materiálů a v nejvíce exponovaných místech je vyztužena Obr. 3.2.3.1. .



Obr. 3.2.3.1. Stavba karosérie automobilu Audi A8

Celkově si tak karoserie zachovává vysokou pevnost a tuhost a poměrně nízkou hmotnost. Při nejčastějších druzích nárazu se karoserie deformuje tak, že pohlcuje výraznou část nárazové energie za účelem zajištění ochrany cestujících. Během vlastního nárazu je optimalizován průběh setrvačných sil a přetížení, které působí na cestující tak, aby svými účinky nezpůsobily vážné zranění nebo smrt. Většina lidí ze základů fyziky ví, že nárazová energie vozidla je závislá na jeho hmotnosti a druhé mocnině rychlosti. Vedle jakési představy o hodnotě energie tak lze získat možnost srovnání nárazových energií různou rychlostí. Tak například při dvojnásobné rychlosti bude nárazová energie, která se během nárazu přemění v energii deformační, čtyřnásobně větší. Na vozidlo tak působí čtyřikrát větší deformační energie a tudíž i podstatně vyšší deformační síly, což se projeví i větším poškozením vozu. Požadavkem na bezpečnou karoserii je, aby těmto silám odolal zejména prostor pro cestující, který by měl zůstat nejméně narušen. Jen tak lze dosáhnout toho, aby následky nehody byly pro cestující minimální. Při nárazu rychlostí okolo 50 km/h je možné naměřit přetížení přes 20G, což znamená že všechny části těla jsou dvacetkrát těžší. Problém ovšem je v tom, že každá část těla má jinou relativní hmotnost a tudíž na ně působí i rozdílné síly. Právě nestejněměrné silové zatížení lidského těla a setrvačné síly, které působí například na spojení hlava-krk, jsou příčinou vážných poranění a v řadě případů i smrti.

Úkolem programově deformovatelné karoserie je vedle požadavku zachování prostoru pro cestující i požadavek na pohlcení co největší části nárazové energie. Část karoserie, kde je zachycena největší část nárazové energie se nazývá deformační zóna. Obecně platí pravidlo, že čím delší je možná deformační zóna, tím je vůz z hlediska pasivní bezpečnosti bezpečnější. Delší deformační zóna totiž umožňuje větší deformaci bez narušení interiéru vozu a tím i dosažení menších sil a přetížení. Karoserie se deformuje vlivem postupné přeměny nárazové energie v deformační, která působí na jednotlivé konstrukční části vlastní karosérie a další části vozu (chladič, motor atd.). Jistá deformace v oblasti místa nárazu je tak žádoucí. K tomu, aby deformace byla pro cestující optimální a to i z hlediska působících sil, je nutné, aby probíhala předpokládaným způsobem. Vedle toho musí být ovšem dodržen požadavek nízké hmotnosti. Všechny plechy použité v částech karoserie, které jsou vystaveny největšímu riziku nárazu jsou různé tloušťky a současně i různých profilů. Deformace tak může probíhat plynule a s relativně malými silami a přetížením. Vedle toho jsou nejvíce namáhaná místa a části karoserie vyztužena tuhými a

pevnými podélnými a příčnými nosníky. Stejně je tomu i u všech sloupků karoserie, které jsou také tuhé a pevné viz Obr. 3.2.3.2. .



Obr. 3.2.2. Deformování karosérie

3.3. Budoucnost vývoje stavby karosérií

V současné době a v blízké budoucnosti se budou stále více používat metody a materiály na výrobu automobilů, které zlepšují celkovou konstrukci automobilu. Již dnes se začínají uplatňovat stále více materiály, které konkurují svými vlastnostmi ocelím. Oceli byly do nedávných dob považovány za nejpříznivější variantu, ale se stále se rozvíjejícími poznatky a výzkumy se zjišťuje, že za určitých podmínek vykazují v kombinaci s jinými látkami viz. Kap. 3.3.1. a 3.3.2. mnohem lepších vlastností nežli samotné oceli. A tudíž se budou v brzké době více uplatňovat v moderních konstrukcích automobilu. Mezi tyto materiály patří především plasty, kompozity a dále materiály na bázi kombinace oceli a plastů tzv. sandwiče ad.

3.4. Konstrukce [4]

Konstrukce je výchozím bodem pro přípravu výroby a má dalekosáhlý význam pro volbu technologie a zařízení celého závodu. Spolu s kvalitou je prvním předpokladem úspěšné výroby. V době náběhu musí karosérie odpovídat světovému standartu s výhledem se udržet na trhu více let, za předpokladu menších pozdějších úprav.

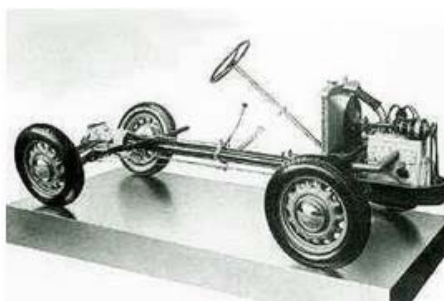
Přitom je třeba při tvorbě automobilů a karosérií rozlišovat nadčasové a dočasné hodnoty:

- ❖ **Dočasné** – patří sem především tvar, styl, a v jistém rozsahu i materiál
- ❖ **Nadčasové** – platí pro každou karosérii a každou dobu a ocení se teprve po určité době provozu

Konstrukce určuje především způsob stavby (podvozková nebo samonosná – viz. Kap. 3.4.1. a 3.4.2.), použitý materiál (ocelový plech, plech z lehkých slitin nebo plastické panely), velikost karosérie a podle třídy vozidla i bohatost vnitřní výbavy.

3.4.1 Podvozková karosérie [4,5]

Upevňuje se na rám podvozku a sama nenese zatížení. Podvozek s rámem, který nese hnací a řídicí orgány i karosérii, zachycuje všechna namáhání. Karosérie je s ním pružně spojena a spojení musí umožnit přiměřený vzájemný pohyb, aniž by vznikalo její nadměrné namáhání. Spojení je pryžovými elementy, které také zabráňují přenosu hluku do karosérie. Toto řešení má tu výhodu, že lze stejný podvozek použít pro různé karosérie. Obr 3.4.1.

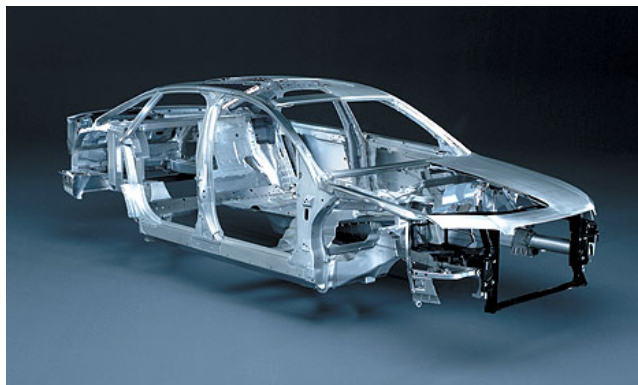


Obr. 3.4.1. Podvozek Škoda Popular 995

3.4.2. Samonosná karosérie [5,13]

Samonosná karosérie dnes u osobních automobilů plně nahradila rámovou karosérii. Tvoří dostatečně tuhý, pružný prostorový celek, který nevyžaduje rám podvozku jako nosný prvek. Nápravy jsou upevněny na její spodek a motor s převodovkou je zavěšen přímo v karosérii. Samonosná karosérie plně přejímá funkci nosného rámu. V místech upevnění náprav, motoru a převodovky má vhodné zpevnění výztuhami. Motor je uložen na pružných blocích (tzv. silentblocích,

používají se kvůli utlumení vibrací a hluku přenášeného do karoserie) v upravených lůžkách. Obr 3.4.2.



Obr. 3.4.2. Samonosná karosérie (Audi A8)

3.4.3. Polonosná karosérie [5]

Vůz má rám podobně jako u podvozkové karoserie, avšak ten slouží pouze k uchycení podvozkových orgánů. Namáhání při jízdě a zatížení zachycuje rám společně s karosérií, která musí být s rámem pevně, avšak rozebíratelně spojena. Toto řešení se rozšířilo u velkých vozů, které mají tzv. obvodový rám. Výhodou tohoto systému je, že podvozek se vyrábí jako zvláštní celek a lépe se u něj zajistí rovnoběžnost náprav. Spojí-li se polonosná karosérie nerozebíratelně s rámem, stává se samonosnou.

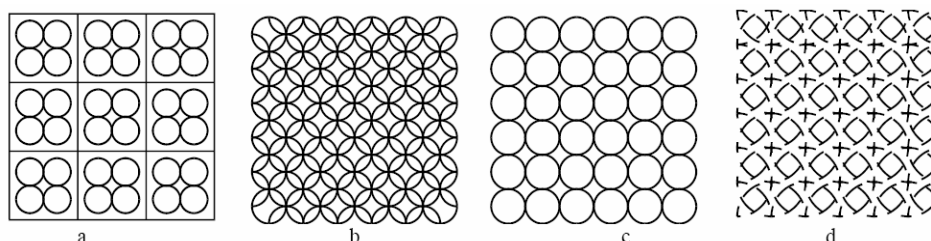
4. HODNOCENÍ MEZNÍCH STAVŮ MATERIÁLŮ

Reálný napěťovo-deformační stav při tažení tvarově komplikovaných výtažků nelze postihnout jednoduchými zkouškami. Pro komplikované výtažky, které mají být vyráběny ve velkých sériích je proto účelné použít zkoušek přímých, ve kterých je tok materiálu zkoumán na modelu, nejlépe ve skutečné velikosti.

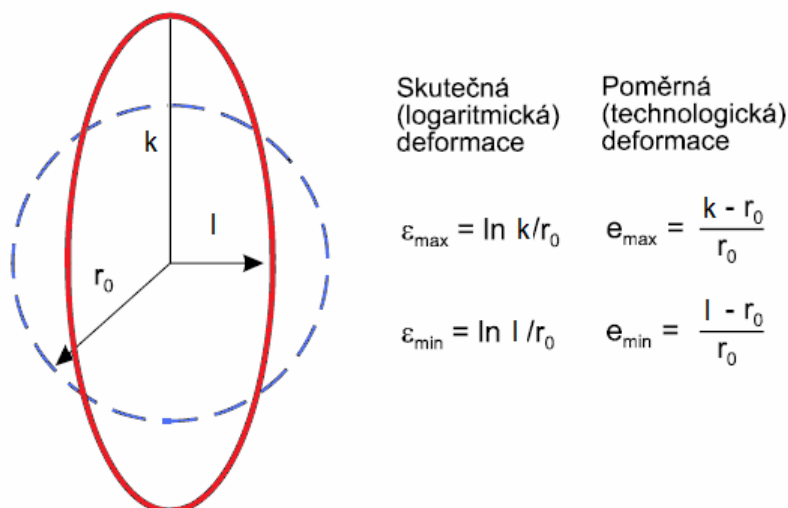
Výsledek může být hodnocen kvalitativně (praskl - nepraskl) nebo kvantitativně. Nejrozšířenější metoda kvantitativního popisu toku materiálu je metoda sítí. Hodnocení deformačních sítí je založeno na předpokladu, že se tenký plech poruší v důsledku lokalizace deformace při rovinné napjatosti, která vzniká v místech největší deformace.

4.1. Metoda sítí [14]

U metody sítí se na plech nebo jeho část nanáší různými metodami (mechanicky, leptáním, tištěním) deformační síť nejčastěji s kruhovými elementy Obr. 4.1.1 . Různé velikosti a tvary se volí podle předpokládané velikosti přetvoření a požadavku na přesnost jeho změření v kritických místech výlisku. Z hlediska vyhodnocení je účelné, aby kruhová síť obsahovala i osy. Výhodou kruhových elementů je to, že se deformují do elips viz. Obr. 4.1.2. , jejichž hlavní osy jsou totožné se směrem hlavních deformací.



Obr. 4.1.1 Různé druhy kruhových sítí



Obr. 4.1.2 Prvek kruhové sítě pro stanovení max. a min. deformace

4.1.1. Metodika hodnocení-definice mezního stavu přetvoření [6,15]

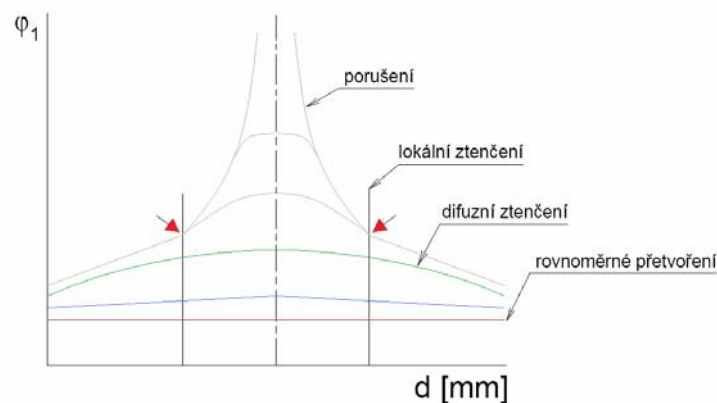
Velikost mezních deformací je dána plasticitostí plechu a podmínkami zatěžování, ale také výrazně způsobem definování mezního stavu. Jako hranice mezního stavu přetvoření lze považovat mez pevnosti a porušení materiálu vlivem tvarového lomu. K určení diagramu mezního přetvoření je proto nutné získat

množství hodnot mezních přetvoření v rozsahu příslušných stavů m_ϕ pro předem definovaný mezní stav. Modelovat různé stavy m_ϕ lze experimentálně nebo matematicky. Pomocí diagramu mezního přetvoření lze hodnotit plastické vlastnosti různých materiálů, či využít těchto diagramů ke komplexní analýze přetvoření výlisku. V případě experimentálně stanovených diagramů mezního přetvoření je nutné velikost mezního stavu přetvoření měřit pomocí deformačních sítí. Otázkou tedy zůstává, jakým způsobem na reálném výlisku nadefinovat mezní stav přetvoření. Jednoznačné definování mezního stavu přetvoření a způsobu jeho určení je velmi důležité, neboť tyto faktory výrazně ovlivňují polohu a tvar křivky mezních přetvoření.

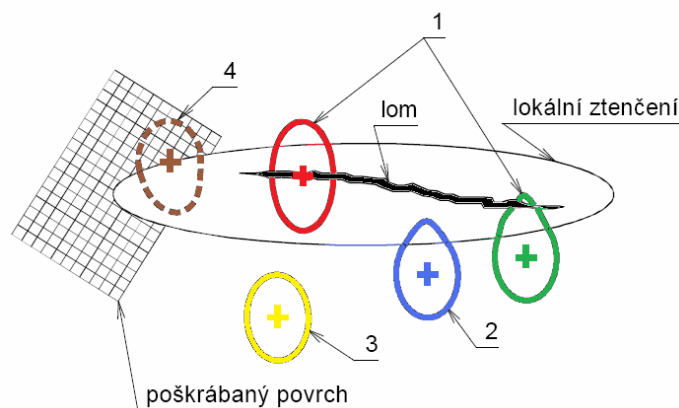
Řešení problému spočívá v přesném určení definovaného mezního stavu a způsobu jak se bude zjišťovat velikost dosaženého přetvoření, jež bude považováno za mezní. Bylo konstatováno, že je možné mezní stav definovat v rozmezí meze pevnosti a okamžiku vzniku tvárného lomu. Oba takto zvolené mezní stavy představují krajní hranice. Volbu mezního stavu je vhodné, s ohledem na komplexní využití diagramů, uvažovat ve vztahu k reálnému výlisku. Určit dosažení meze pevnosti u výlisku je dost obtížné, ne-li nemožné, zatímco objeví-li se první trhliny, je naprosto evidentní. První případ může znamenat nevyužití plastičnosti materiálu, druhý pak znamená již neopravitelný zmetek. Přestože vysokého lomového přetvoření nelze z praktického hlediska ve vztahu k výlisku již využít, bylo by možné k analýze přetvoření použít i křivku mezních přetvoření stanovenou pro okamžik vzniku lomu. Pro reálné výlisky je však prakticky využitelné jen přetvoření realizované do okamžiku vzniku lokálního ztenčení.

Charakter rozložení přetvoření v okolí trhliny v různých fázích tažení je zřejmý z Obr. 4.1.3. Objektivní vizuální určení definovaného mezního stavu je dosti obtížné. Obecně nejrozšířenější postup při určování mezního přetvoření dle výše uvedené definice vychází z výběru vhodných elementů z okolí lomu, jak je naznačeno na Obr. 4.1.4. . Výběr pak zahrnuje elementy deformační sítě zasažené lomem č. 1 na Obr. 4.1.3. , lokálním ztenčením č. 2 a takové, které sousedí s místem porušení, ale nejsou zasaženy ani lomem, ani lokálním ztenčením č. 3. Poloha bodů v diagramu mezního přetvoření představujících přetvoření dle jednotlivých vybraných elementů je zřejmá v diagramu mezního přetvoření budou nejvýše body č.1, pak č. 2 a nejnižší č. 3. Křivka mezních přetvoření ve smyslu navržené definice pro počátek lokálního ztenčení je vedena tak, aby ležela nad body určené elementy č.

3 a pod body danými elementy č. 1 a č. 2. Takto určená křivka mezního přetvoření v podstatě odděluje diagram mezního přetvoření na dvě oblasti. Nad ní existuje lokální ztenčení, pod ní ještě nedošlo k lokalizaci deformace. Křivka mezního přetvoření tvořící rozhraní obou těchto oblastí tak může odpovídat počátku vzniku lokálního přetvoření a plně vyhovět dané definici mezního stavu.



Obr. 4.1.3. Charakter rozložení přetvoření φ_1 v okolí trhliny



Obr. 4.1.4. Výběr elementů deformační sítě pro určení mezního přetvoření

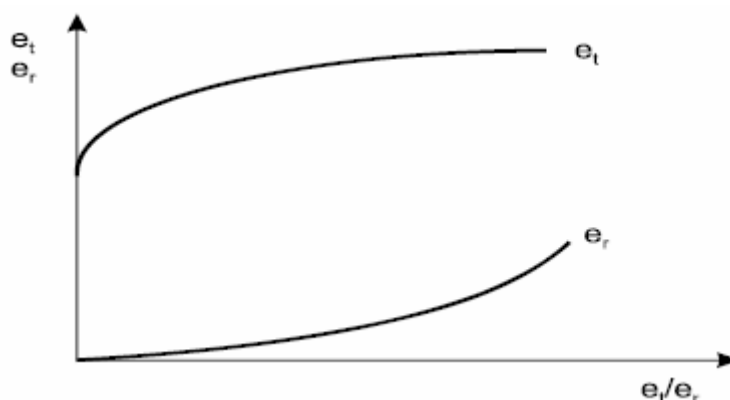
Za mezní přetvoření je dle výše přijaté definice považováno to, které z vnějšku bezprostředně sousedí s lokální zónou. Tomu odpovídá střed elementu č.4 na Obr. 4.1.4. (50% elementu zasaženo lokálním ztenčením) a jeho hodnota je na Obr. 4.1.3. označena šipkami.

Z dosud provedených experimentů vyplývá, že přijaté definici mezního stavu se nejvíce blíží hodnoty, které jsou získány měřením elementů č.2 na Obr. 4.1.4.. Na podstatné části plochy vymezené těmito elementy je rovnoměrné přetvoření, ale část této plochy je zasažena lokálním ztenčením. Při dané velikosti elementu sítě je totiž změřená hodnota deformace přiřazena středu elementu. Střed měřené elipsy č.2 na

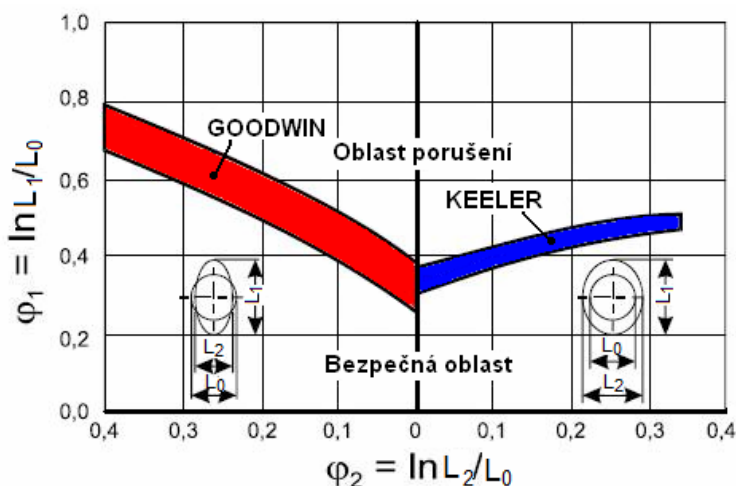
Obr. 4.1.4. však není totožný s rozhraním „lokální ztenčení-rovnomerná oblast“, kde lze očekávat dle přijaté definice mezní přetvoření, ale je posunut dál do rovnoměrné oblasti, a tedy k nižším hodnotám přetvoření.

4.2. Přehled základních metod určování diagramů mezních přetvoření [14,15]

K určení diagramů mezních přetvoření je nutné získat množství hodnot mezních přetvoření v rozsahu $m_\sigma [0 ; 1]$ resp. $m_\varphi [-0.5 ; 1]$. Modelovat stavy m_φ lze nejen poččetně, ale i experimentálně. Původním postupem uplatněným KEELEREM, který rozpracoval metodiku hodnocení hlavních deformací podle GENSHAMERA na praktických výtažcích a při laboratorních zkouškách tažení s pevným půlkruhovým, eliptickým a kuželovým tažníkem. Nejprve vynášel limitní diagramy Obr. 4.2.1 a později FLD jako tzv. KEELER-GOODWINOVY diagramy Obr. 4.2.2.

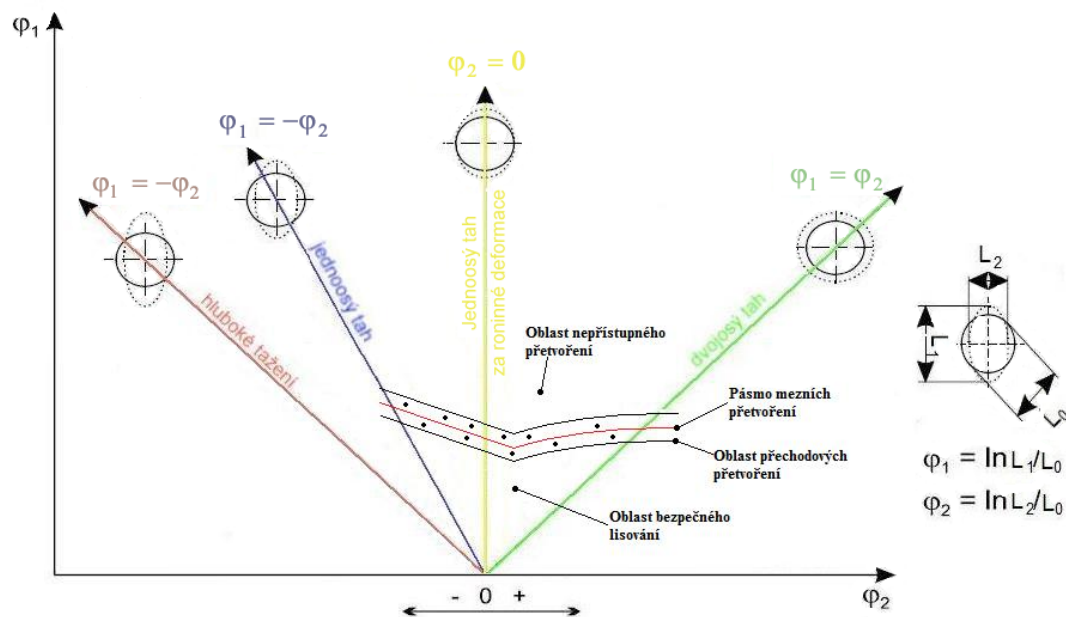


Obr 4.2.1. Původní KEELERův diagram, označení $e = \varphi$



Obr. 4.2.2. KEELER-GOODWINův diagram ve skutečných deformacích

Jsou-li jednotlivé stavy napjatosti vyjádřené ukazatelem $\alpha = \sigma_2 / \sigma_1$ [označení m_σ], předpokládá se, že jde o prosté zatěžování. A stavy deformace vyjádřené poměrem $\rho = \varepsilon_2 / \varepsilon_1$ [označení $m_\rho = \varphi_2 / \varphi_1$] vyjadřující tzv. Deformační (stopu) cestu, tvoří v FLD paprsky vycházející z počátku souřadnic. Deformační stav při plošném tváření je znázorněn na Obr. 4.2.3. .



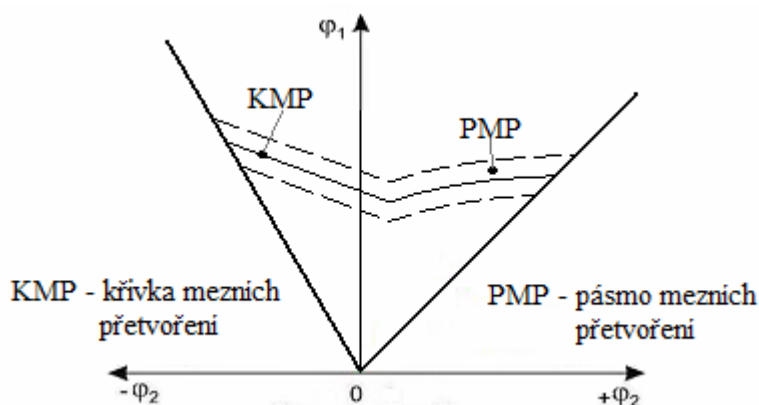
Obr. 4.2.3. Deformační stopy při plošném tváření

4.2.1. Využití diagramu mezních přetvoření v analýze přetvoření[16]

Důvodů k využívání diagramů mezních přetvoření v souvislosti se zjišťováním přetvoření reálných výlisků je celá řada, ale nejdůležitější jsou tyto :

- ❖ DMP lze přirovnat k mapě, umožňující přesně zaznamenat, kde se nacházíme, kde jsme byli, a kam je možno se určitou cestou dostat. Zobrazuje přehledný obraz přetvoření, který musí daný výlisek projít z rovinného výstřihu ke konečnému dílu.
- ❖ - DMP jsou rozloženy do několika deformačních oblastí Obr. 4.2.4.. Oblast nejvýše položená je oblast nepřijatelných přetvoření, z hlediska přijaté definice mezního stavu. Mohou se zde vyskytovat přetvoření nad mezi pevností, ztenčení i trhliny.

- Oblast pásma mezních přetvoření (PMP). Je to oblast, kde lze předpokládat množnost vzniku mezních přetvoření s určitou pravděpodobností (0 – 100 %) danou polohou v DMP.
 - Oblast pod PMP, tzv. Přechodové pásmo. Zahrnuje nebezpečná přetvoření, která se nemusí projevit hned při lisování, ale až později. Šířka tohoto přetvoření je opět závislá na mnoha faktorech, jako je např. stálost, kvalita lisovacího nástroje a jeho seřízení, spolehlivost a správné dodržení technologických podmínek atd. .
- ❖ Pro každý druh materiálu je vlastní DMP a ty se liší dle tloušťky plechu, kvalitou, atd. Z dané polohy přetvoření v DMP lze usuzovat, zda při změně kvality materiálu zpracovaného plechu způsobí nežádoucí problémy při výrobě, či naopak.



Obr. 4.2.4. Rozložení DMP

4.3. Experimentální určení [14,15]

➤ *Metody pro určení DMP :*

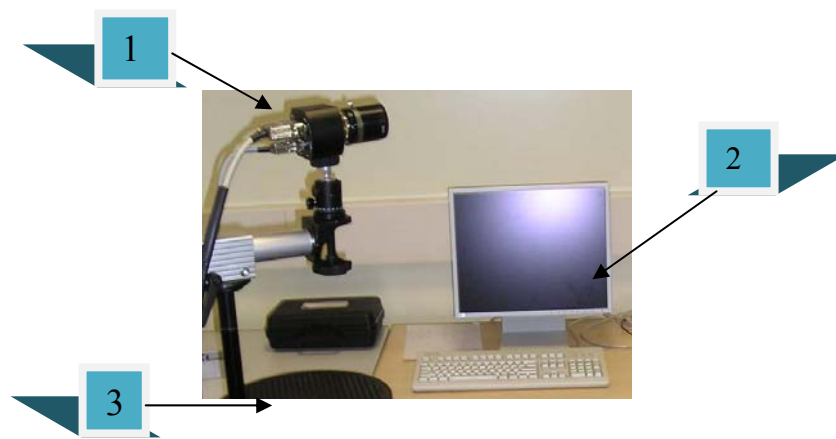
- ❖ Zkouška tahem se vzorky s vrubem
- ❖ Hydraulická vypínací zkouška
- ❖ Zkouška vypínání s různými tvary tažníku
- ❖ Zkouška tažení kruhových odlehčených přístřihů
- ❖ Zkouška tažení pásků s proměnlivou šířkou v pevné nástroji
- ❖ Zkouška vypínáním tvarových zkušebních těles s proměnnou šířkou b

5. OPTICKÁ ANALÝZA DEFORMACÍ

5.1. Optický systém ARGUS [17]

ARGUS je bezkontaktní optický systém pro měření 3D deformací plechu při lisovacím procesu. Původně byl vyvinut pro automobilku Renault, nyní je používán ve všech lisovnách, tohoto automobilového závodu stejně, tak jako u většiny jejich dodavatelů a výzkumných institucí po celém světě.

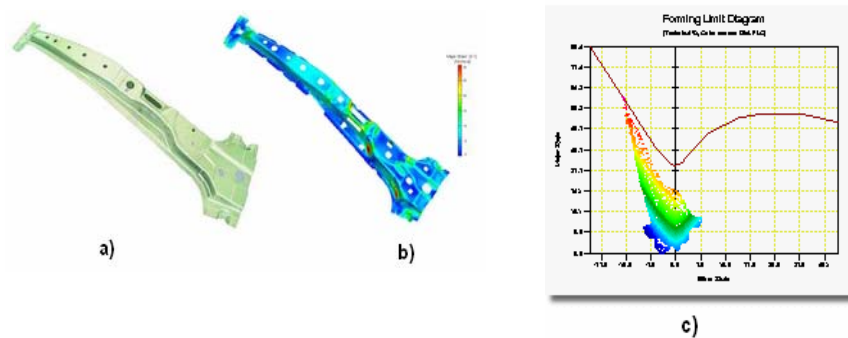
Hlavní části tohoto zařízení jsou tvořeny snímací kamerou č.1, výpočetní stanicí č.2, pomocným zařízením pro manipulaci ze vzorky č.3 na Obr. 5.1.1.



Obr. 5.1.1. Optické zařízení ARGUS

➤ *Mezi základní přednosti systému Argus patří:*

- ❖ mobilita (systém lze převážet v osobním automobilu)
- ❖ flexibilita (snadná změna velikosti záběru a rozlišení)
- ❖ velký rozsah měření (objekty od 100mm do několika m)
- ❖ rozsah měření deformace (od 0.5% až do několika stovek %)
- ❖ vysoká přesnost a hustota naměřených dat (bodů na povrchu objektu)
- ❖ přehledná analýza výsledků měření (grafické vizualizace) Obr 5.1.2.



Obr 5.1.2 . a) Díl v reálném zobrazení , b) Díl zobrazený pomocí barevných polí v 3D systému, c) Forming Limit Diagram

➤ Proces měření

Na měřený vzorek je elektronicky vyleptaná mřížka bodů o mikroskopické tloušťce a s velikostí bodů mřížky 1 až 6 mm. Následně je plechový díl vylišován za současně probíhající deformace mřížky. Po vylišování je plech změřen kamerou s CCD čipem a u pořízených snímků jsou pomocí image processingu vypočteny 3D souřadnice bodů mřížky. Na základě metody zachování konstantního objemu je vypočteno rozložení hlavní a vedlejší deformace, redukce tloušťky materiálu a FLC diagram. Výsledky jsou zobrazeny na 3D modelu jako barevná mapa nebo v řezech.

5.2. Optický systém ARAMIS [18]

ARAMIS je bezkontaktní měřicí systém firmy GOM pro měření reálných 3D deformací. Výsledkem je barevná mapa rozložení deformací na objektu zatěžovaném buď staticky, nebo dynamicky. Proces měření může být spouštěn v pravidelných časových intervalech (např. s prodlevou 1s) nebo může být řízen externím signálem (např. ze zatěžovacího stroje). Maximální rychlost snímání může být až 8 kHz. Při měření rotačních objektů se dá propojit více systémů ARAMIS do jednoho měřicího systému. Zařízení je zobrazeno na Obr. 5.2.1. a Obr. 5.2.2.



Obr 5.2.1. Detail na měření systémem ARAMIS



Obr 5.2.2. Celkový pohled na systém ARAMIS

➤ ***Mezi základní přednosti systému Argus patří:***

- ❖ velký rozsah měření (objekty od velikosti 1mm do 1000mm)
- ❖ rozsah měření deformace (od 0,05% až do stovek %)
- ❖ jednoduchá příprava povrchu objektu (nástřík může být pravidelný i náhodný)
- ❖ vysoká hustota naměřených dat (bodů na povrchu objektu)
- ❖ mobilita (systém lze převážet v osobním automobilu)
- ❖ flexibilita (snadná změna velikosti záběru a rozlišitelnosti systému)
- ❖ přehledná analýza výsledků měření (grafické vizualizace)

➤ ***Proces měření***

Na objekt je pomocí spreje nanesen kontrastní vzor (tzv. pattern), který se deformuje zároveň se zatěžovaným objektem. Objekt je pro každou úroveň zatížení (tzv. stage) sejmut 2 CCD kamerami a ze získaných snímků jsou pomocí image processingu vypočteny 3D souřadnice bodů ležících na povrchu objektu. Porovnáním odpovídajících si bodů v jednotlivých úrovních zatížení systém vypočítá 3D posuvy a následně tvar deformovaného objektu a 3D deformace

➤ ***Výstupy z měření***

- ❖ hodnoty 3D posunutí bodů na povrchu objektu
- ❖ hodnoty 3D posunutí bodů v radiálním směru
- ❖ hodnoty 3D deformace měřené na povrchu objektu (Mises, Tresca strain)
- ❖ hodnoty hlavních a vedlejších deformací (Major, Minor strain)
- ❖ tvar objektu v jednotlivých fázích deformace (mrak bodů)
- ❖ hodnoty změny tloušťky materiálu (např. u plechů)
- ❖ velikost deformace vůči limitní tvářecí křivce (FLC)
- ❖ grafické nebo tabulkové výstupy naměřených hodnot

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části bylo určit křivku mezního přetvoření pro vybrané stavy napjatosti u hlubokotažného materiálu H 220PD s tloušťkou 2,1 mm. Pro zjištění daných křivek, byla volena konvenční metoda měření na dílenském mikroskopu, která umožňuje analýzu deformace i v blízkém okolí trhliny. Toto zařízení je používáno na katedře strojírenské technologie FS TUL. Jako srovnávací měření, bylo použito zařízení ARGUS 4M ve firmě Škoda Auto a.s. Testy byly provedeny na zkušebních vzorcích, které svým tvarem modelují různé stavy napjatosti na výlisku, viz. Kap. 6.2. Bylo voleno 6 deformačních stop po 3 vzorcích, pro měření na dílenském mikroskopu a 6 deformačních stop po 1 vzorku pro měření za pomoci zařízení ARGUS 4M. Postup měření je stručně charakterizován na Schématu 6.1.

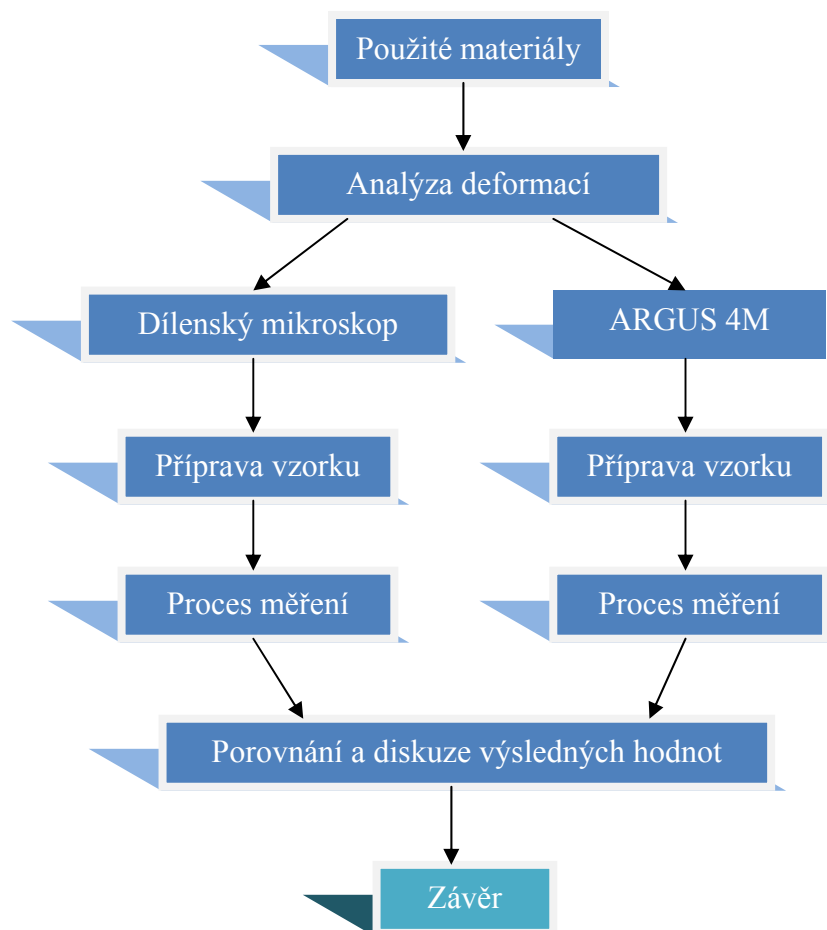


Schéma 6.1. Postup měření

6.1. Vlastnosti a složení použitého materiálu

Jako testovaný materiál byl zvolen hlubokotažný plech H 220PD o tloušťce 2,1 mm. Vybrané informace o materiálu jsou uvedeny v materiálové průvodce, viz. Tab. 6.1.1.

Tab. 6.1.1. Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu H 220PD

Mechanické hodnoty					Chemické složení					
$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A_{80} (%)	r_{90}	n_{90}	C	Mn	Si	Al	P	S
Min-Max	Min-Max	Min	Min	Min	Max	Max	Max	Min	Max	Max
220-280	340-400	32	1,3	0,15	0,08	0,7	0,5	0,02	0,08	0,025

6.2. Příprava vzorků

Pro zjištění diagramu mezního přetvoření experimentálním způsobem byla použita metoda vypínání tvarových zkušebních těles s proměnnou šířkou b . S ohledem na rovnoměrné pokrytí požadovaného intervalu stavů přetvoření $m_\varphi = -0,5$ až $m_\varphi = 1$ mezními hodnotami přetvoření bylo použito 6 různých tvarů přístřihů, kde šířka přístřihu b se měnila v rozmezí 30 mm až 210 mm Obr. 6.2.1. . Pro jednotlivé deformační stopy, pro měření na dílenském mikroskopu, byly zhotoveno vždy 3 vzorky viz. Kap. 6.3.1. a pro měření na systému ARGUS 4M jeden vzorek od každé stopy, viz. Kap. 6.3.2. . Zkušební zařízení pro vypínání tvarových zkušebních těles se skládá ze speciálního nástroje umístěného na hydraulickém dvojčinném lisu CBA 300 Obr. 6.2.2. , kde nástřihy pevně sevřené v oblasti příruby jsou vypínány polokulovým tažníkem o průměru 100 mm. Kriteriem pro ukončení zkoušky je vznik lokálního ztenčení nebo trhliny na testovaném vzorku. Orientace použitých vzorků byla volena tak, aby směr hlavní normálové deformace φ_1 byl vždy kolmý ke směru válcování.

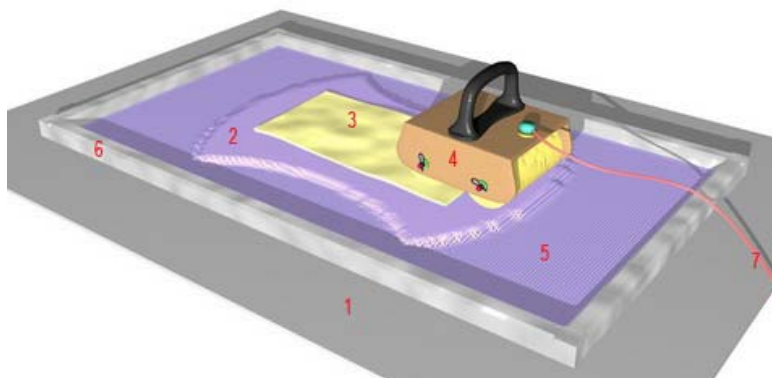


Obr. 6.2.1. Ukázka použitých deformačních stop.



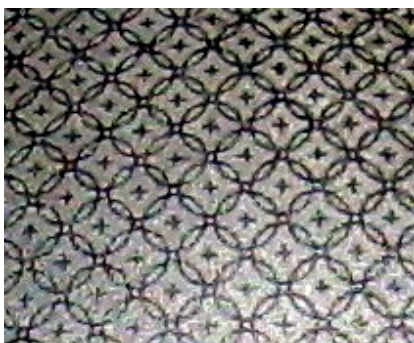
Obr. 6.2.2. Hydraulický dvojčinný lis CBA 300

Pokud není zapotřebí velká přesnost deformačních sítí je jednodušší použít metodu elektrolytického leptání, s použitím příslušných deformačních sítí. Zaleptaná síť se neseťe tak snadno jako síť vytvořená barvou (např. sítotisk, gumostereotypie). S ohledem na charakter řešené problematiky byla volena pro výrobu deformačních sítí právě metoda elektrochemického leptání pomocí textilních šablon viz. Obr. 6.2.3. Kde manipulační válečky představují kladnou elektrodu, a po následném pohybu po vzorku, vznikne v důsledku elektroleptání daná deformační síť. Záporná elektroda je připojena k vodivé podložce, na niž je položen vzorek. Pro každou z měřících metod byl volen jiný typ deformační sítě, ale se stejným rozměrem $L_0 = 2 \text{ mm}$ (velikost bodu a vzdálenost mezi body). Detailní pohled na použité deformační sítě je vidět na Obr. 6.2.4. a Obr 6.2.5.

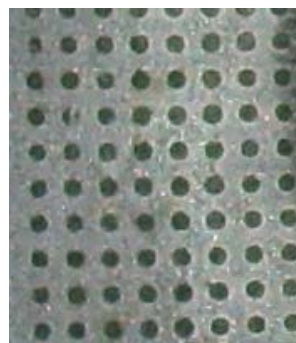


Obr. 6.2.3. Schéma elektrolytického leptání

1 – vodivá podložka s přivedenou zápornou elektrodou, 2 – vzorek s přístřihem,
3 – tkanina napuštěná elektrolytem, 4 – manipulační válečky, 5 – šablona se vzorem, 6 – rám šablony,
7 – vodič s kladnou elektrodou



Obr. 6.2.4. Detailní pohled na použitou deformační síť pro měření na dílenském mikroskopu



Obr. 6.2.5. Detailní pohled na použitou deformační síť pro měření na systému ARKUS 4M

6.3. Použité měřicí metody

6.3.1. Měření pomocí dílenského mikroskopu

Měření bylo provedeno na výliscích s deformačními sítěmi viz Kap. 6.2.. Na těchto výliscích bylo vybráno 3 - 8 elementů, které leží v oblasti lokálního ztenčení. Na každém tomto elementu byly proměřeny hlavní a vedlejší přetvoření, za pomoci měřicího zařízení (PC). Jako výsledný tvar, po přetvoření kruhových elementů, vznikly elipsy s hlavními osami o délkách L_2 (menší rozměr) a L_1 (větší rozměr). Pomocí hodnot L_1 a L_2 vybraného elementu deformační sítě, který vyhovuje zvolené definici mezního stavu, se spočítají s použitím vztahu 6.3.1. hlavní normálná (mezní) přetvoření φ_{1k} a φ_{2k} .

$$\varphi_{2k,1k} = \ln \frac{L_{2,1}}{L_0} \quad (6.3.1.)$$

kde: L_0 ... průměr počátečního elementu [mm]

$L_{2,1}$... rozměry hlavních os elementu po přetvoření [mm]

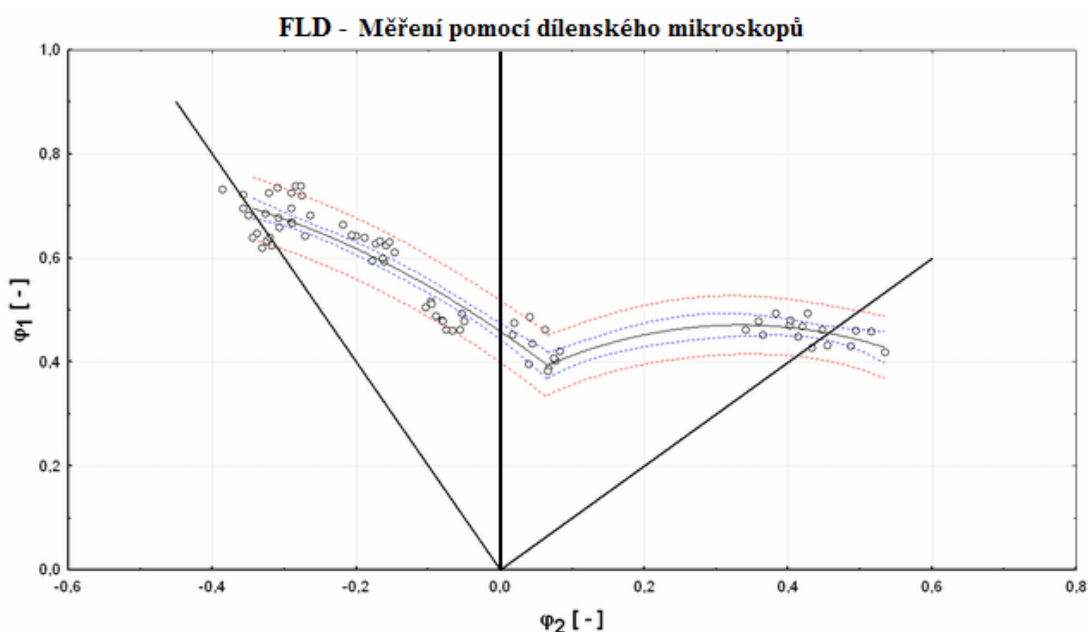
Základní formou diagramů mezních přetvoření je pásmo bodů o souřadnicích $[\varphi_{2kj}, \varphi_{1kj}]$ představujících mezní přetvoření, kde φ_{2k} , resp. φ_{1k} jsou definována dle vztahu 6.2.2. jako logaritmická přetvoření, $j = 1 \dots N$ je počet bodů v pásmu. Toto experimentálně zjištěné pásmo mezních přetvoření je pomocí regresní analýzy proloženo křivkou mezních přetvoření. Pro regresi byla volena polynomická křivka druhého řádu dle vztahu 6.3.2 s hodnotou tolerančních a spolehlivostních pásem 0,85.

$$\varphi_{1kj} = \mathbf{a} + \mathbf{b} \varphi_{2kj} + \mathbf{c} \varphi_{2kj}^2 \quad (6.3.2.)$$

kde: $\varphi_{2kj}, \varphi_{1kj}, \dots$ souřadnice pásma bodů křivky mezního přetvoření
 $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, \dots$ regresní koeficienty

➤ Výsledky z dílenského mikroskopu

Hodnoty po následném získání z měření na dílenském mikroskopu byly přeneseny do tabulky viz. Příloha č.3 a přepočítány podle vztahu 6.3.1. na logaritmické hodnoty deformací. A následně z daných hodnot byl zhotoven FLD diagram, viz. Obr. 6.3.1.1. .



Obr. 6.3.1. FLD - Měření pomocí dílenského mikroskopů

Získaný diagram mezních přetvoření odpovídá tvarem diagramům hlubokotažného materiálu. Křivka mezních přetvoření je díky vyšší tloušťce materiálu posunuta k vyšším hodnotám mezních přetvoření na ose φ_1 . Výsledný tvar je dán vlastnostmi materiálu a procesem tažení při dostatečné eliminaci třecích sil s použitím PE folií a maziva, kdy se spolehlivě uplatňoval viskózně plastický účinek maziva.

6.3.2. Měření pomocí optického systému ARGUS 4M [6]

➤ Příprava vzorku

Předem připravený vzorek viz kap. 6.2. byl přenesen a upevněn na pomocném zařízení, které slouží k manipulaci se vzorkem, tak aby nedošlo k jeho možnému pohybu v prostoru. Stabilita upevnění je velmi důležitá, neboť při jakékoliv menší odchylce dochází k přerušení a ukončení snímacího procesu a proces je poté nutné opakovat. Po uchycení vzorku ve stabilní poloze byly přiloženy kalibrační kameny Obr. 6.3.2.1. a dvě měřicí tyčinky Obr. 6.3.2.2. .

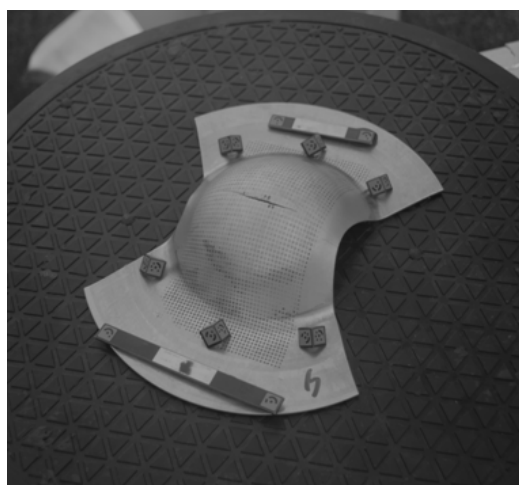


Obr. 6.3.2.1. Kalibrační kámen



Obr. 6.3.2.2. Měřicí tyčinky

Tyto značky je nutné umístit, tak aby při samotném procesu snímání byla dobře čitelná jedna z ploch se snímacími body. Podmínkou pro úspěšné rozpoznání deformační sítě je nutné zaměřit 5 ploch z celkového počtu známek. Dále nanese na vzorek jednu nebo pro přesnější rozlišení dvě kódovací tyčinky, které jsou umístěné. V této fázi je vzorek připraven k samotné analýze pomocí ARGUS 4M techniky, viz. Obr. 6.3.2.3. .



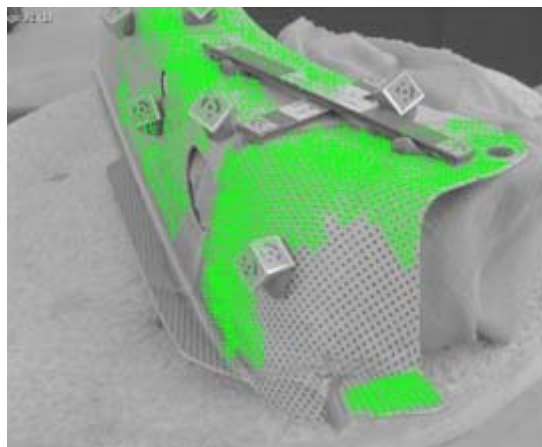
Obr. 6.3.2.3. Příprava vzorku k ARGUS 4M optické analýze

Nastavení snímací kamery, je závislé na umístění vzorku v prostoru a dále na zkušebních (měřicích) podmínkách např. světlost v prostoru. Pomocí zaostřovacích čoček, které jsou ovládány kroužky je nutné zaostřit vzorek, tak aby bylo viditelně zaostřeno 5 a více kódovacích ploch na značkách.

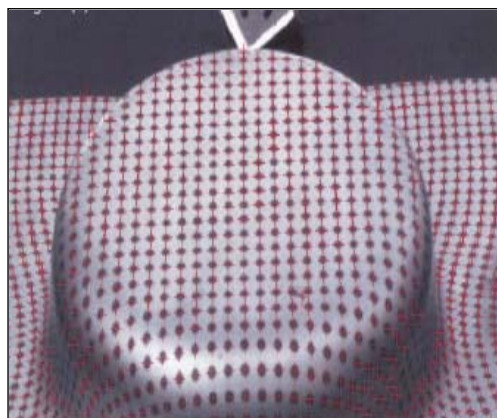
➤ Postup měření

Takto připravený vzorek je nasnímán pomocí optické kamery. Je důležité zvolit různé úhly pohledu, aby byl daný vzorek zachycen přesně a pokud možno celý. V každém pohledu je potřeba zhotovit hned několik snímků, aby byl vzorek co nejpečlivěji a nejpresněji nasnímán. Po nasnímání dostatečného počtu snímků je možné spustit výpočet. Výpočet převede body deformační sítě z jednotlivých snímků na digitální body Obr. 6.3.2.4..

V případě úspěšného výpočtu, který probíhá u každého snímku zvlášť, je vzorek barevně označen a připraven k dalšímu pracovnímu postupu. U úspěšně vypočtených snímků jsou výsledné body označené křížkem, viz. Obr. 6.3.2.5 . V této chvíli je možné všechny označené body spojit a vytvořit tak daný vzorek. Po zhotovení 3D schématu následuje vyhodnocovací režim. Zde je možné zobrazit a upravovat výsledné výpočty a výsledky. Pro přehlednější a přesnější vyhodnocení se používají filtry, které stanoví, jakým způsobem se mají vyhodnocovat výpočty. V našem případě byl použit filtr, kde pro výsledný výpočet byla určena metoda výpočtu přes 3 body (křížky) a 2 vzdálenosti. System AGRUS 4M umožňuje výpočet i přes více bodů, ale se zvyšujícím počtem klesá přesnost výpočtu, přesněji řečeno výpočet je hladší ale zatížen větší chybou.



Obr. 6.3.2.4. Výpočet bodů deformační sítě



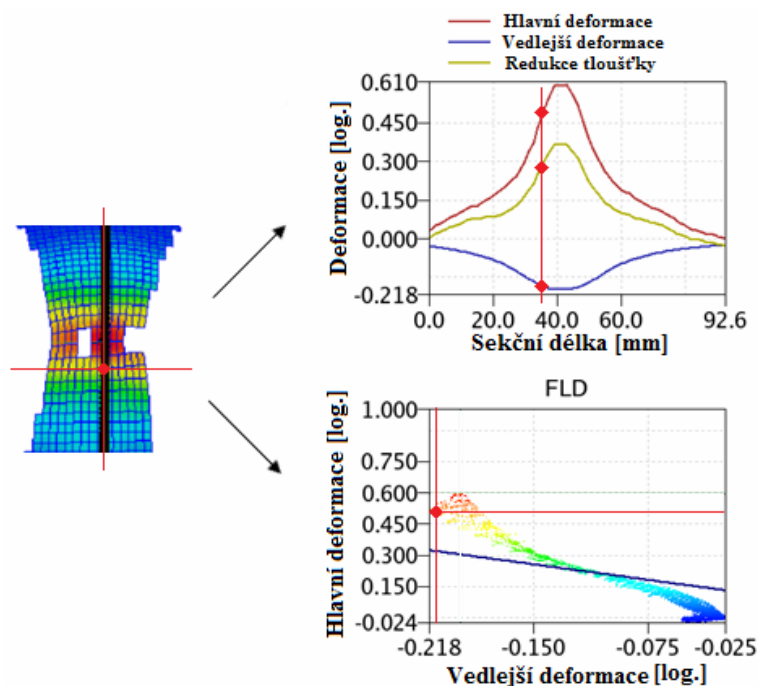
Obr. 6.3.2.5. Zachycení deformační sítě

Výsledný model je možno zobrazit v několika režimech podle potřeby uživatele, za pomoci veličin:

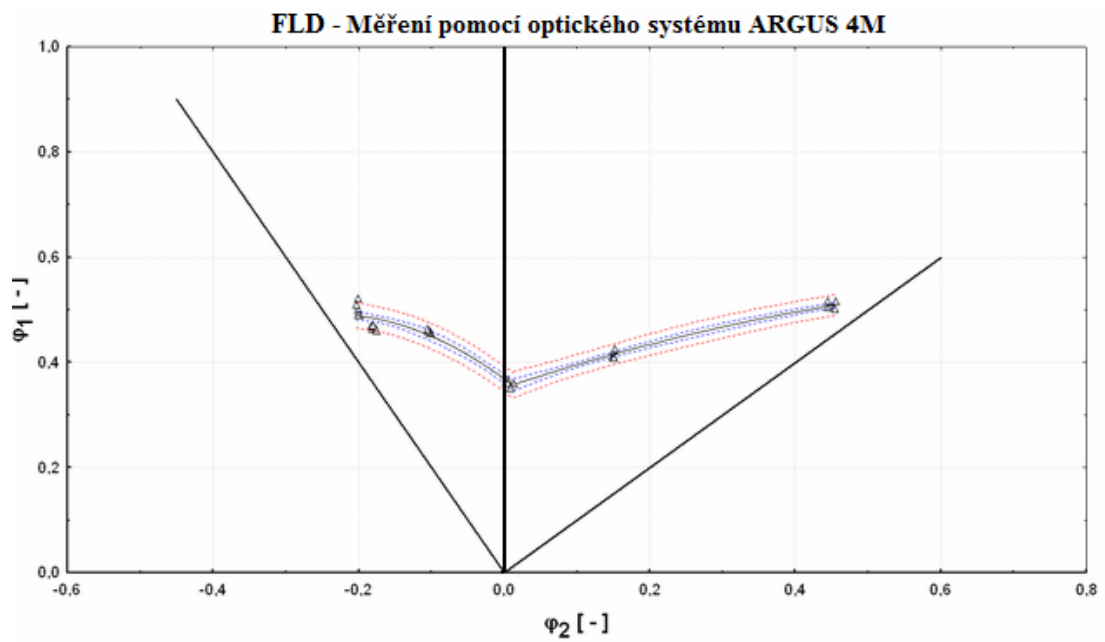
- hlavního napětí (major stress)
- vedlejšího napětí (minor stress)
- hlavní deformace (major strain)
- vedlejší deformace (minor strain)

➤ Postup vyhodnocování a výsledky ze systému ARGUS 4M

Po provedeném výpočtu se na zobrazeném 3D modelu vyznačila úsečka, již protnuté body (elementy) budou součástí vyhodnocení. Dostaneme tak průběh deformací podél této úsečky. Z hodnot ležících v této přímce byly vytvořeny příslušné diagramy, viz Obr. 6.3.2.6.. Na každém snímku vyhodnocení lze přímo vyhodnocovat jednotlivé vybrané body, jak je naznačeno na obr 6.3.2.6. červeným čtverečkem. Výběr jednotlivých bodů pro sestrojení křivky mezních přetvoření, byl volen s ohledem na polohu elementů vůči trhlině. Snažili jsme se o to, aby poloha vybíraných bodů pro sestrojení křivky mezních přetvoření co nejvíce odpovídala poloze bodů použitých pro sestrojení křivky mezních přetvoření pomocí optického mikroskopu. Tj. vybírány byly elementy, které se dotýkali trhliny, nebo byly v její těsné blízkosti. Tento postup se opakoval pro více bodů a pro každou z deformačních stop, viz. Příloha č.2.1. – č.2.6.. Získané hodnoty byly přeneseny do tabulek viz. Příloha č.3 a následně zhotoven FLD diagram Obr.6.3.2.7.

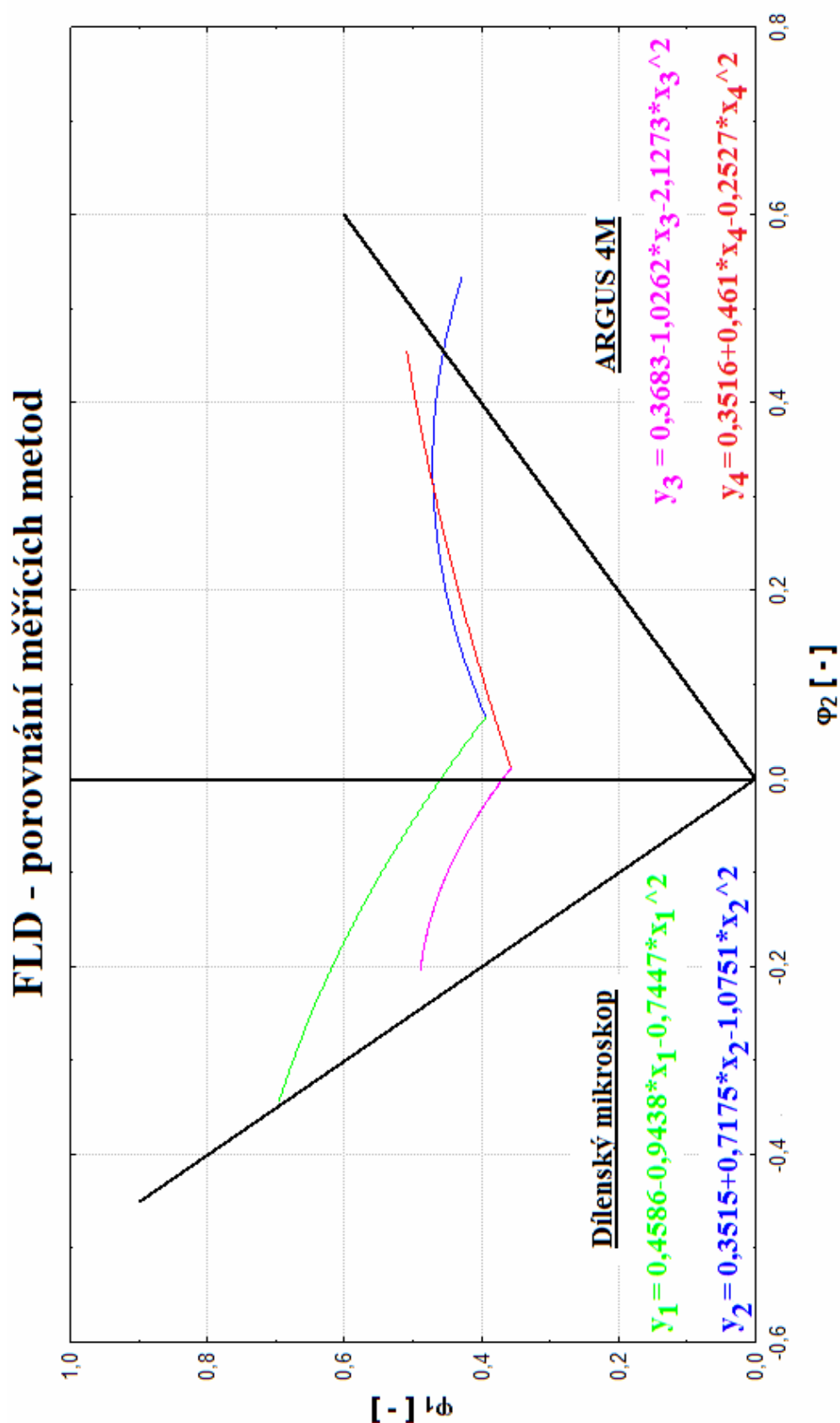


Obr.6.3.2.6. Postup vyhodnocování



Obr. 6.3.2.7. FLD pomocí systému ARGUS 4M

7. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU

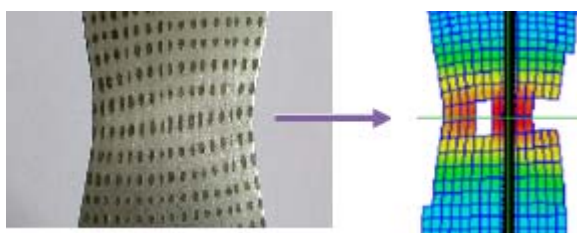


Obr. 7.1. FLD – Porovnání měřících metod

Cílem této bakalářské práce bylo určení diagramů mezního přetvoření u hlubokotažného materiálu H 220PD s tloušťkou 2,1 mm. Byly voleny dvě metody měření. Pomocí dílenského mikroskopu a systému ARGUS 4M. Porovnání výsledků měření se provedlo pro různé stavy napjatosti, které respektují v širokém spektru technologii tažení. Výsledné naměřené hodnoty mezních přetvoření, resp. křivky mezních přetvoření byly porovnány na obr. 7.1. Největší rozdíly mezi oběma použitými metodami byly pozorovány v oblasti ztenčení (trhliny) u vzorku o šířce $b = 30$ mm, což odpovídá jednoosému tahovému stavu napjatosti.

U systému ARGUS 4M byly v průběhu měření zpozorovány určité faktory, které ovlivnily daný výsledek a to:

- ❖ Oproti měření na dílenském mikroskopu systém ARGUS 4M nedokáže docílit shodného nastavení pro měření. Systém neumožňuje nastavit výpočet přes 2 body a 1 vzdálenost, což by odpovídalo měření na dílenském mikroskopu. Jemnost nastavení, kterého lze dosáhnout, je měření přes 3 body tzv. 2 délky. Tento faktor zapříčiní to, že výsledné hodnoty u systém ARGUS 4M vykazují nižší deformace.
- ❖ U vzorků, kde došlo k vytvoření trhliny na vzorku, je systém ARGUS 4M schopen pouze vyhodnotit ty body, které neleží v okolí trhliny a tyto body dále zpracovávat. Výsledné zpracované body (na vzorcích bez trhliny) mají ovšem nižší hodnoty mezního přetvoření, než elementy na vzorcích s trhlinou a to v její bezprostřední blízkosti. I přesto, že systém pracuje s vysoce citlivou technologií snímání, není schopen některé body zobrazit viz obr. 7.2. , to je dáno pouze kvalitou snímané sítě.



Obr. 7.2. Body s velkým přetvořením

Dalším důležitým faktorem hlavně u měření na dílenském mikroskopu je chyba způsobená lidským faktorem. Nelze vyloučit případné chyby při odečítání hodnot. U systému ARGUS 4M je tato chyba takřka zanedbatelná. Měřený vzorek je ustálen ve stabilní poloze a snímací zařízení odečítá hodnoty s přesností 0,1 ‰, která je dána technickými možnostmi daného zařízení.

8. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo určit křivku mezního přetvoření pro vybrané stavy napjatosti u hlubokotažného materiálu H 220PD s tloušťkou 2.1 mm. Se stále se zvyšujícím uplatněním plechů s vyšší tloušťkou a to ne jen v automobilovém průmyslu, je stanovení křivek mezního přetvoření velmi důležité. Křivka mezních přetvoření vymezuje v diagramu dvě plochy příslušné přípustným (pod křivkou) a nepřípustným (nad čarou) přetvoření. Křivka (pásma) mezních přetvoření tvoří hranice obou ploch a určuje tak kritická přetvoření pro daný mezní stav. Pro toto určení byla volena metoda vypínáním tvarových zkušebních těles s proměnnou šířkou b . Pro změření byly voleny dvě metody vyhodnocování a to, za pomoci dílenského mikroskopu a systému ARGUS 4M ve firmě Škoda Auto a.s. . V průběhu a po skončení měření bylo upozorováno, že systém ARGUS 4M v oblastech deformací, které se neblíží kritickým lomovým deformacím lze tvrdit, že je systém stabilní a poskytuje přesné výsledky. Což neplatí u deformací v oblasti trhliny, kde jsou výsledky diskutabilní. Dalším poznatkem je, že systém nedokáže docílit dostatečné jemnosti měření (při dané velikosti deformační sítě), která by se shodovala s měřením na dílenském mikroskopu. I přes tyto poznatky je systém velmi efektivní při analýze deformací výlisků, při nepravidelném tažení. Za pomoci dílenského mikroskopu bychom se s velkými obtížemi dopracovávali výsledků. Z těchto poznatků je patrné, že výsledné hodnoty se u obou měřících metod budou lišit. Hodnoty z měření na dílenském mikroskopu vykazují vyšší stupeň jak hlavních, tak i vedlejších deformací a to s největšími rozdíly hodnot u vzorku o šířce $b = 30$ mm, který vykazuje největší přetvoření. Veškeré tyto zkušenosti vedly k tomu, že tloušťka plechu, tak vystupuje jako velmi důležitý faktor ovlivňující dosažené hodnoty mezních přetvoření. Kde se zvyšující tloušťkou plechu se příslušná KMP posouvá k větším hodnotám přetvoření. Tyto vysoké hodnoty přetvoření vedou k tomu, že daný plech se dá použít pro velice složitě tvarové prvky např. části karosérie, které bychom za použití plechu s nižší tloušťkou, vyrobili jen velmi těžko.

Použitá literatura

- [1] TMĚJ, J; MIKEŠ, V: Teorie Tváření, Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1990. 177s. ISBN 80-7083-011-5
- [2] PROCHÁZKA, J; ZAPOTIL, M; NOVOTNÝ, J: Technologie slévání, tváření a svařování. Praha: ČVUT, 1990. 343s. ISBN 80-01-00345-0
- [3] LENFELD, P: Technologie II. – 1. část, 2005. 110s. ISBN 80-7372-020-5
- [4] KEJVAL, Z: Technologie karoserie, Praha: ČVUT, 1970. 229s.
- [5] Abality: Historie Škoda Auto, [březen 2008]
<http://www.abality.com/historie_skoda_auto>
- [6] JÍRA, T: Využití optického systému ARGUS 4M pro analýzu deformace v kritických oblastech výlisku, [Diplomová práce], TU Liberec 2007
- [7] International Iron & Steel Institute: Advanced High Streght Steel, [březen 2008].
< http://www.ulsab.org/pdf_ahssg/newmenu/AHSSGuideFullRpt.pdf>
- [8] Škoda Auto a.s.: Udržitelný rozvoj, [březen 2008]
<<http://new.skodaauto.com>>
- [9] American Iron and Steel Institute: The application of multiphase steel in the Body-in-White, [duben 2008]
<<http://www.autosteel.org> >
- [10] JÍRA, M: Úspora hmotnosti automobilové karosérie použitím pevnostních plechů, [Diplomová práce], TU Liberec 1999
- [11] AUTO: Slovník pojmů, [březen 2008]
< <http://www.auto.cz>>
- [12] LOUDA, P: Hliník a jeho slitiny, [duben 2008]
< www.kmt.vslib.cz/stare/predm-zs/nm1-d/hlinik.ppt>
- [13] WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie, [březen 2008]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Samonosn%C3%A1_karoserie>
- [14] PETRUŽELKA, J; SONNEK P.: Tvářitelnost kovových materiálů, [duben 2008]
<<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TvCELEupr.pdf>>
- [15] BUCHAR, Z: Diagramy mezního přetvoření tenkých hlubokotažných plechů, [Kandidátská práce], VŠST, Liberec 1987

- [16] POLÁK, O: Možnost využití hliníkových plechů při výrobě karosérie a jejich lisovatelnost, [Diplomová práce], TU Liberec, 2002
- [17] MCAE Systém: deformation-ARGUS, [březen 2008]
< http://www.mcae.cz/ARGUS_CS.html >
- [18] MCAE Systém: deformation-ARAMIS, [březen 2008]
< http://www.mcae.cz/ARAMIS_CS.html >

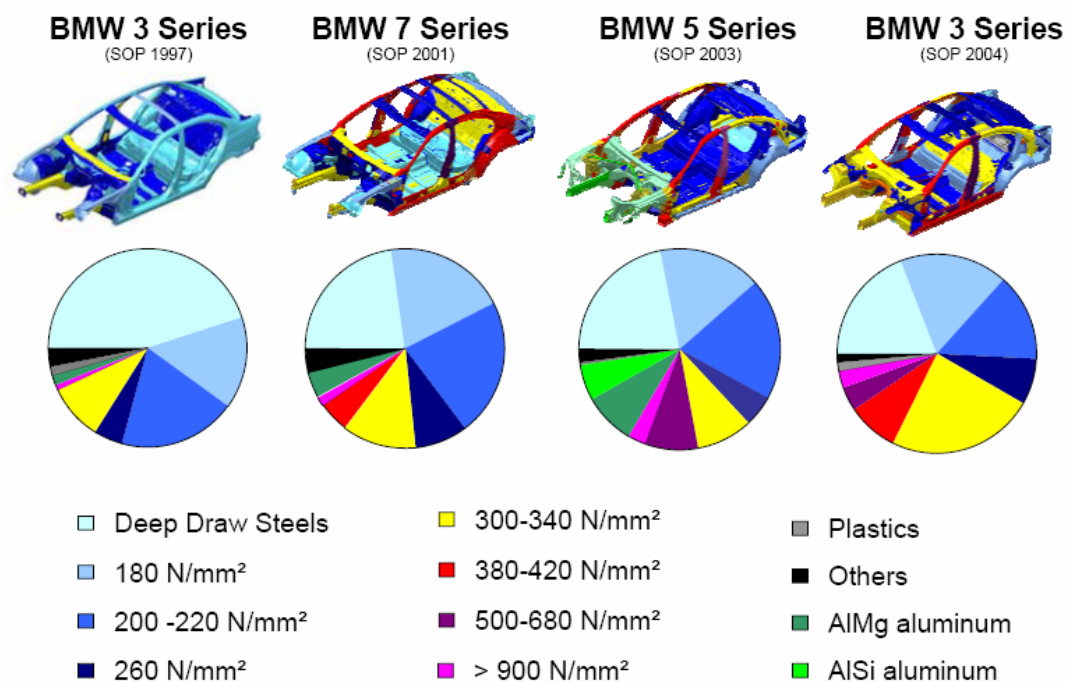
Seznam příloh

1. - Podíly materiálů surové karosérie u automobilů BMW (1997-2004)
 - Detailní popis použitých materiálů v automobilu BMW 3 (2004)

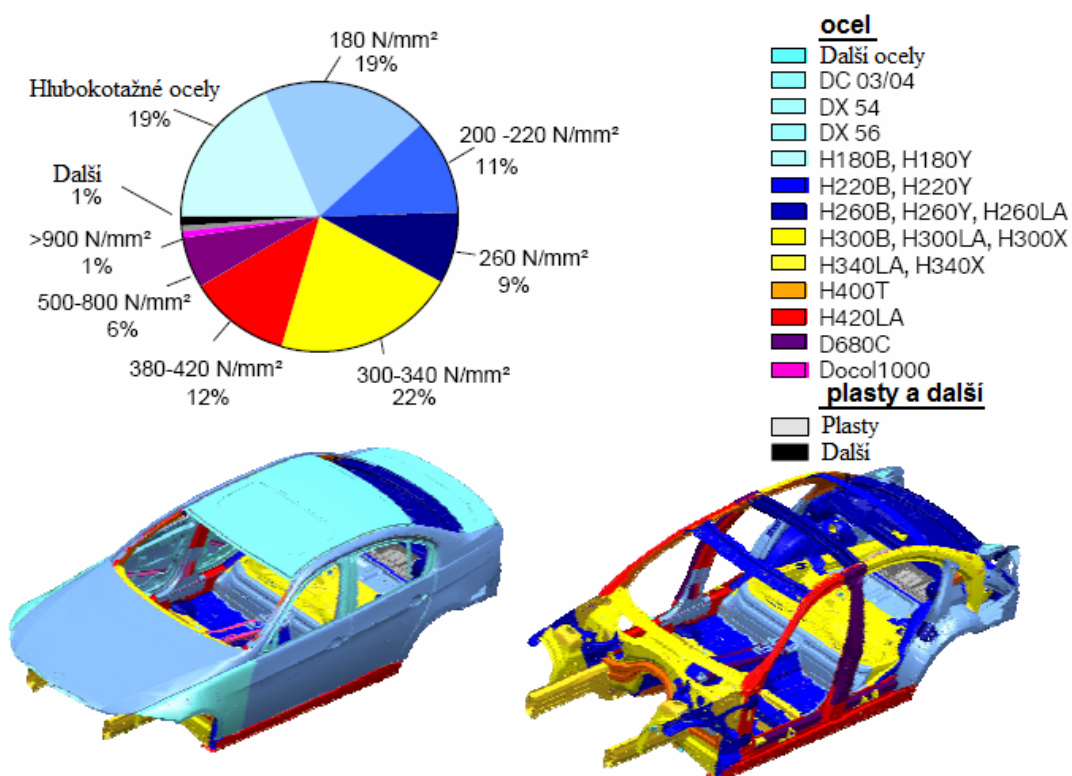
2. Analýza deformací pomocí systému ARGUS 4M
 - 2.1. Deformační stopa o šířce $b = 30$ mm
 - 2.2. Deformační stopa s šířce $b = 45$ mm
 - 2.3. Deformační stopa s šířce $b = 75$ mm
 - 2.4. Deformační stopa s šířce $b = 120$ mm
 - 2.5. Deformační stopa s šířce $b = 150$ mm
 - 2.6. Deformační stopa s šířce $b = 210$ mm

3. - Tabulky z měření na dílenském mikroskopu
 - Tabulka z měření na systému ARGUS 4M

Příloha č. 1



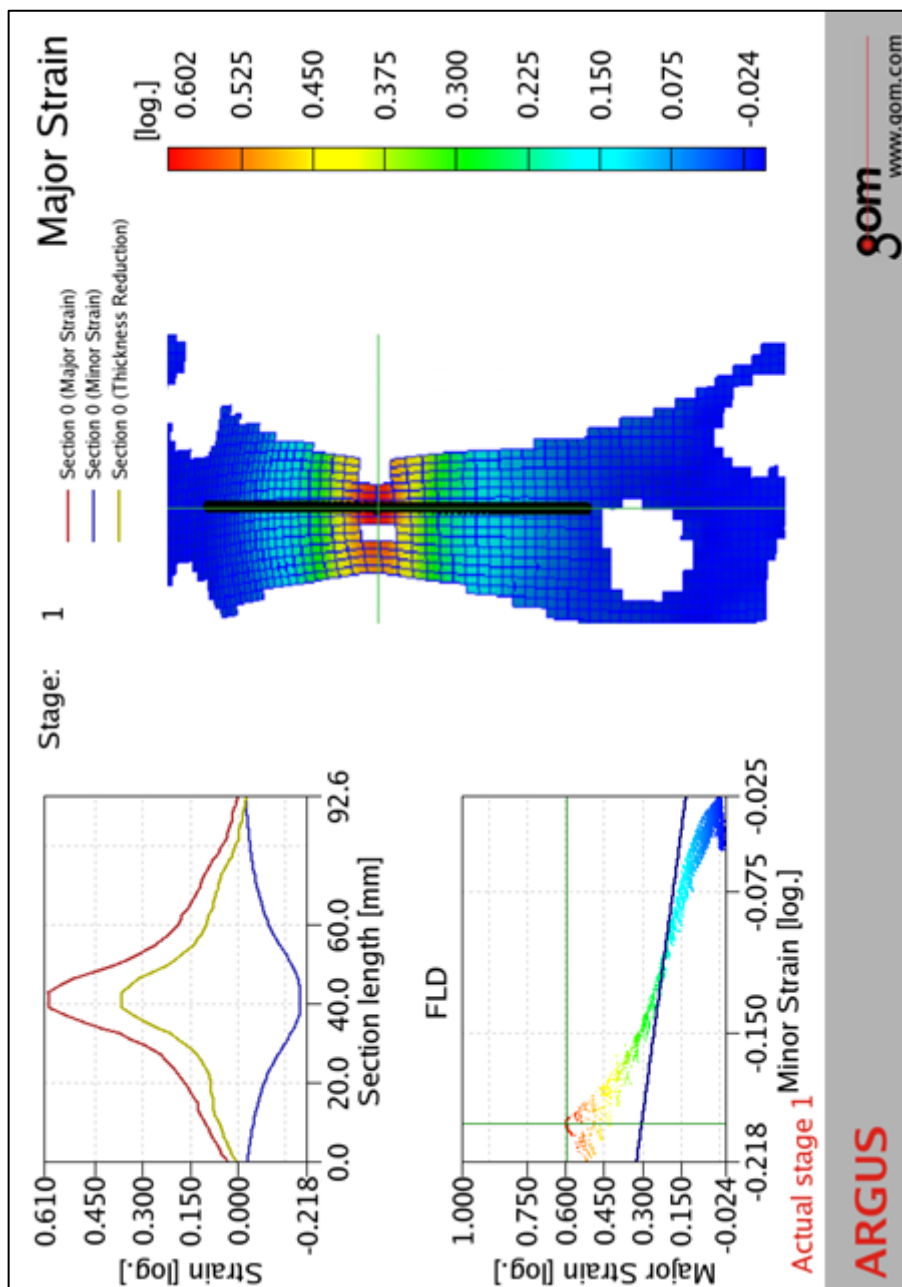
Podíly materiálů surové karosérie u automobilů BMW (1997-2004)



Detailní popis použitých materiálů v automobilu BMW 3 (2004)

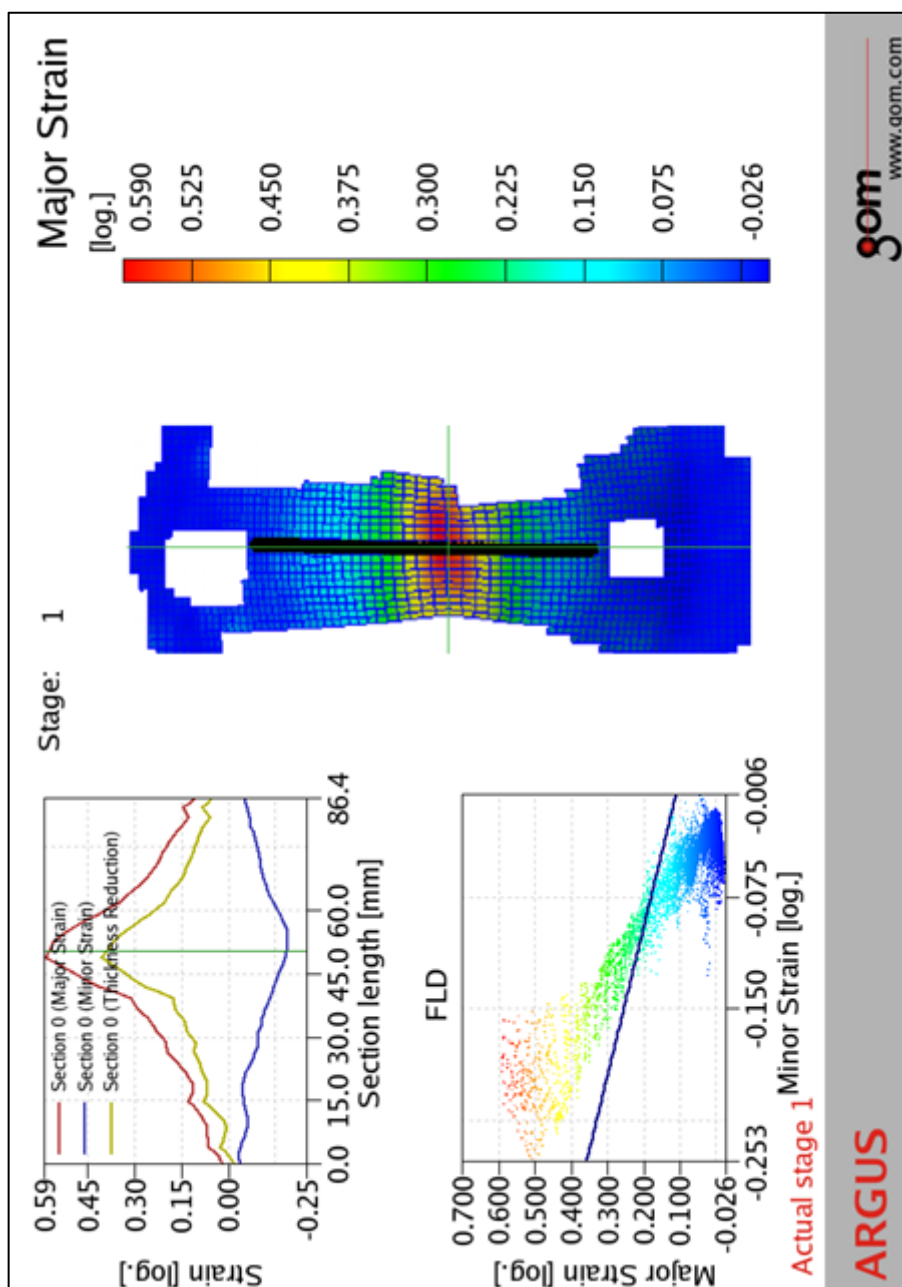
Příloha č. 2.1

Deformační stopa o šířce $b = 30$ mm



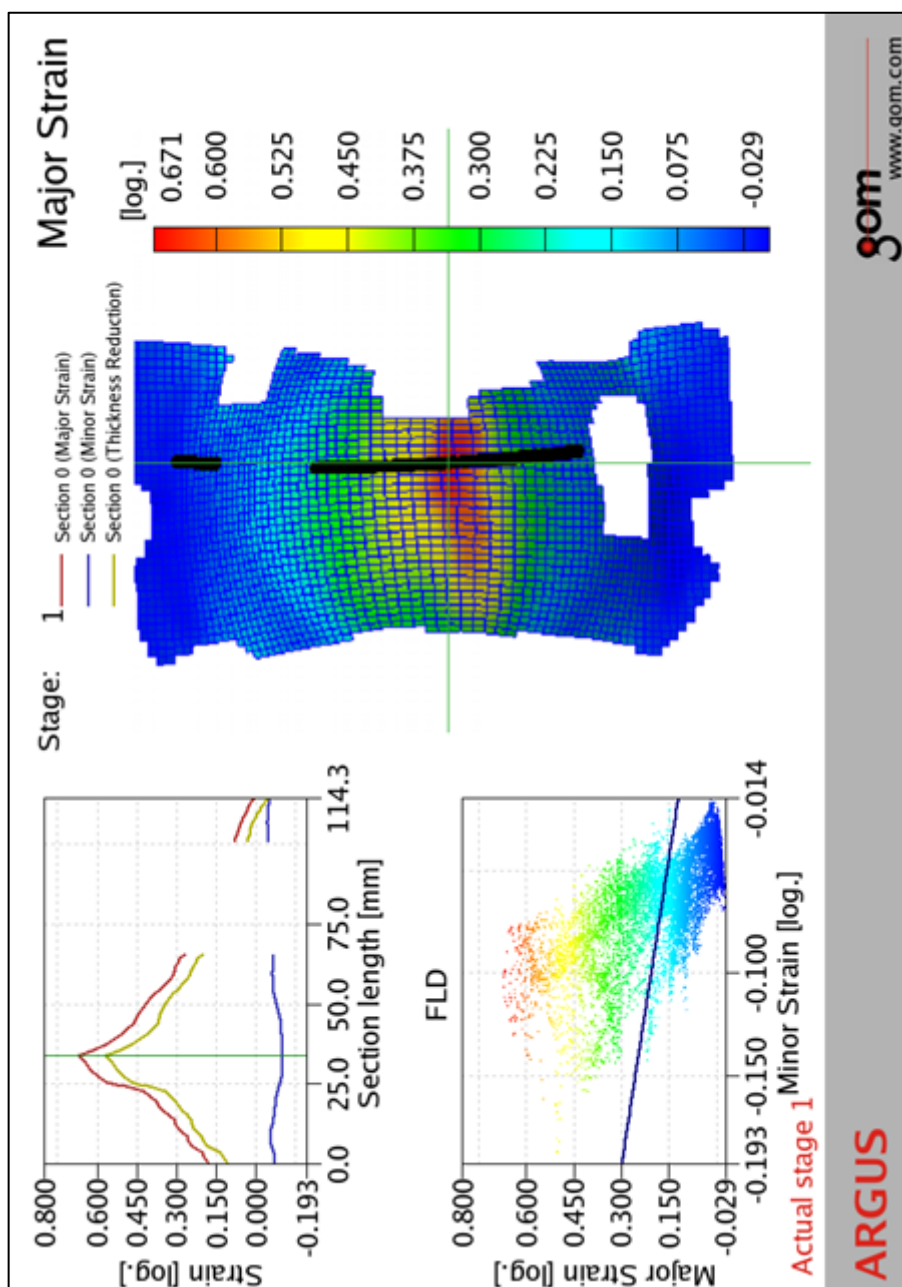
Příloha č. 2.2

Deformační stopa o šířce $b = 45 \text{ mm}$



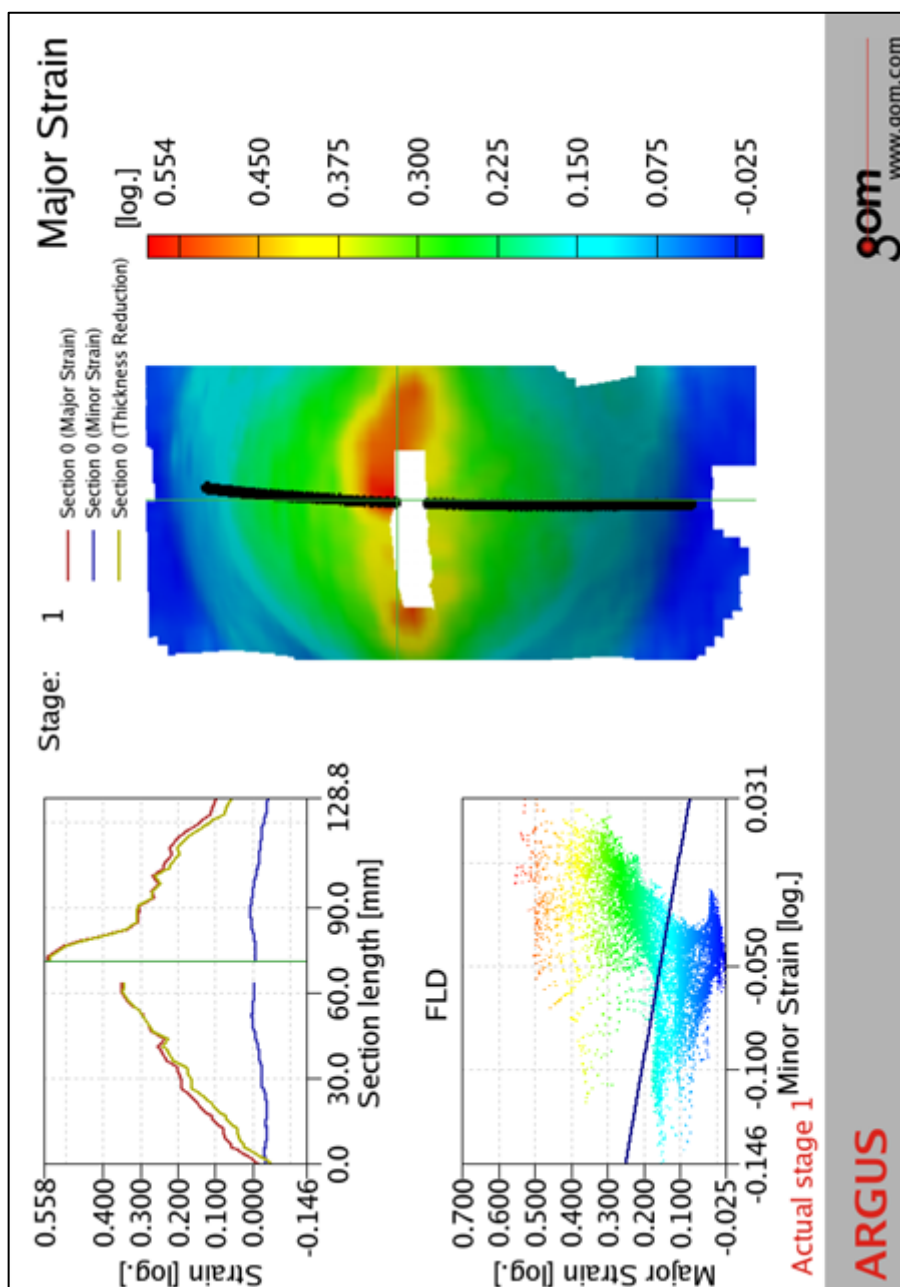
Příloha č. 2.3

Deformační stopa o šířce $b = 75 \text{ mm}$



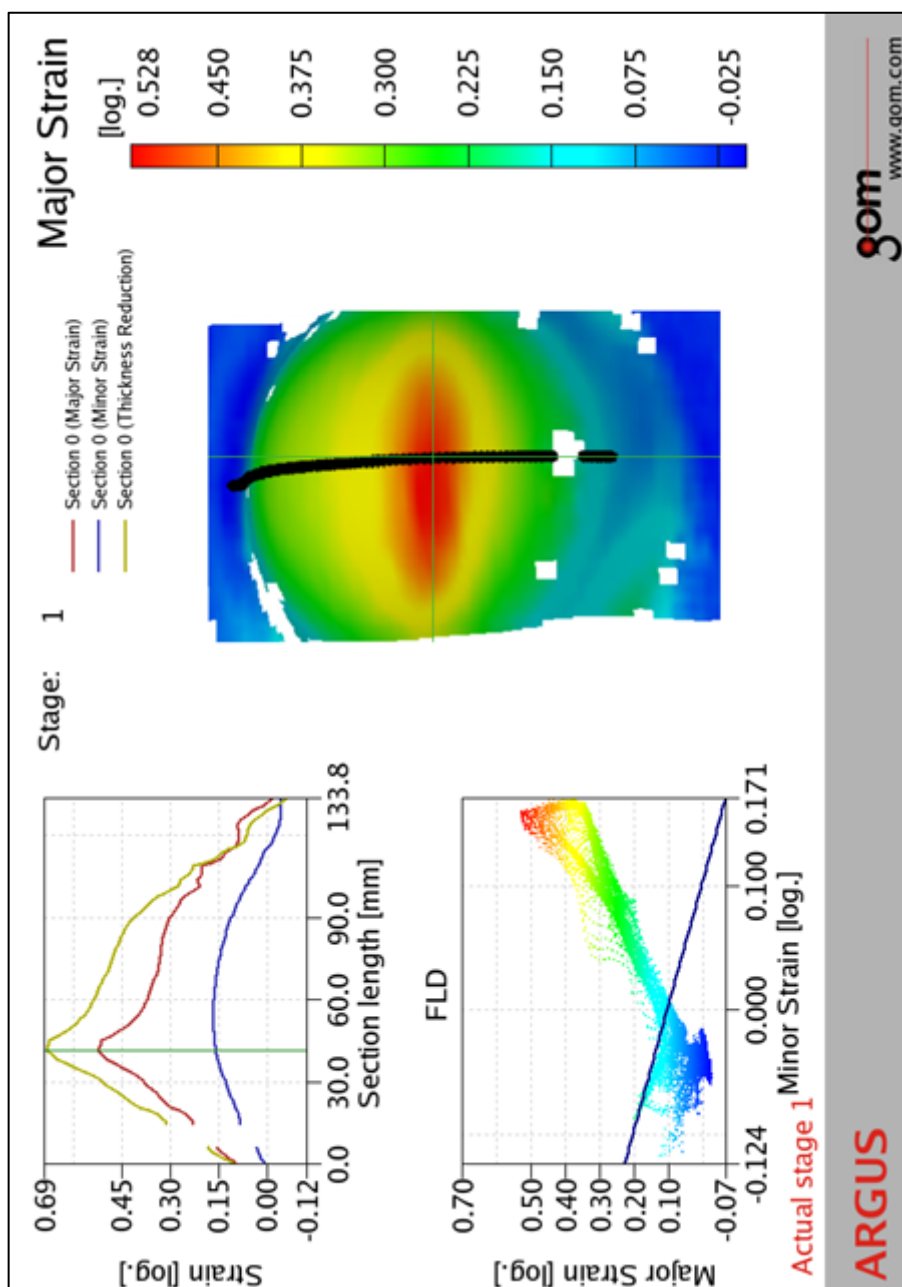
Příloha č. 2.4

Deformační stopa o šířce $b = 120 \text{ mm}$



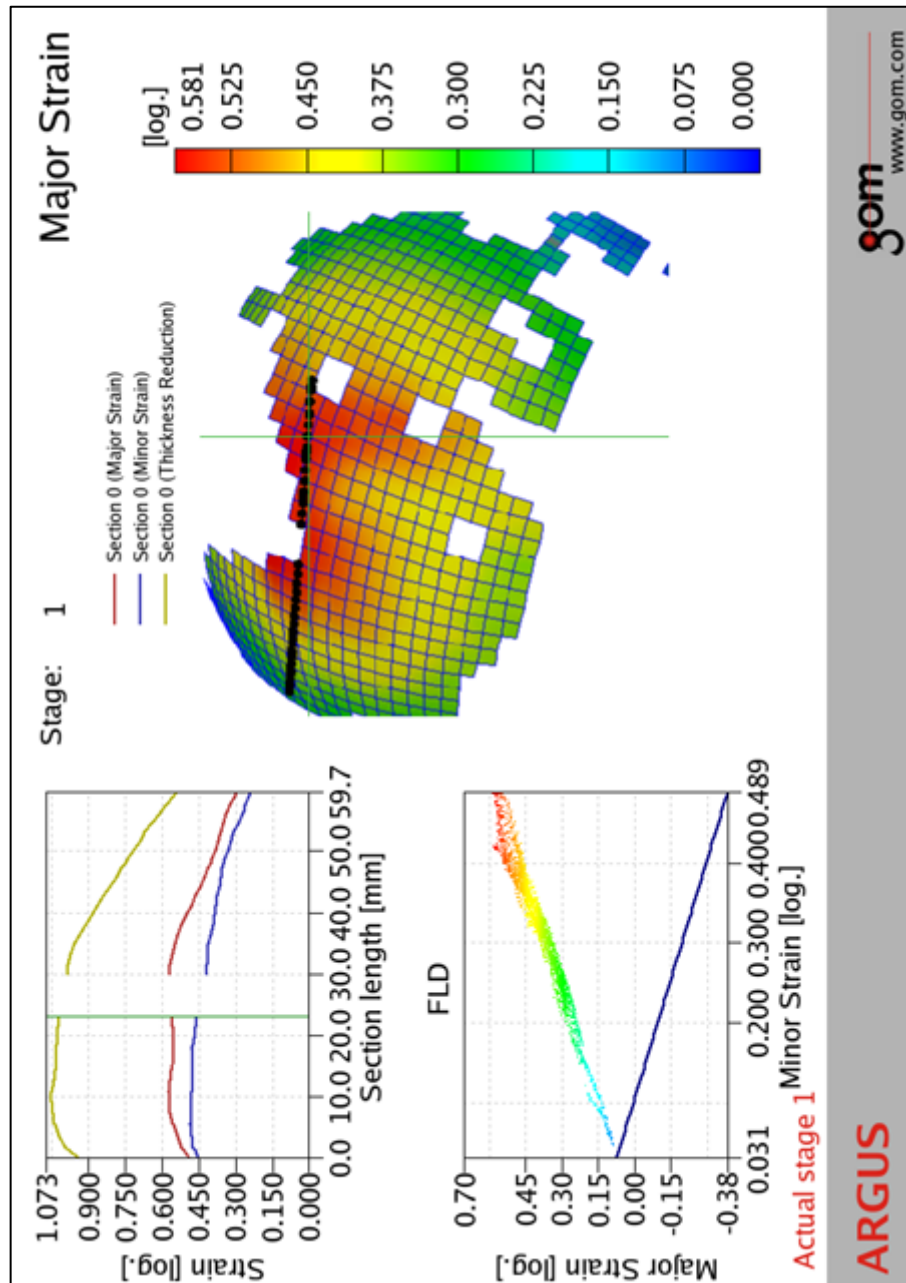
Příloha č. 2.5

Deformační stopa o šířce $b = 150 \text{ mm}$



Příloha č. 2.6

Deformační stopa o šířce $b = 210 \text{ mm}$



Příloha č. 3

Tabulky 6.4.1.1-6.1.1.6. z měření na dílenském mikroskopu

Tab. 6.4.1.1. Pro deformační stopu šíře $b = 30$ mm

číslo vzorku	1,1				1,2				1,3			
bod na vzorku	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
L_2 [mm]	1,46	1,44	1,41	1,43	1,36	1,40	1,45	1,40	1,45	1,44	1,42	1,47
L_1 [mm]	3,73	3,71	3,96	3,82	4,15	4,00	3,76	4,11	3,79	3,97	3,79	3,93
φ_2 [-]	-0,32	-0,33	-0,35	-0,34	-0,39	-0,36	-0,32	-0,36	-0,32	-0,33	-0,34	-0,31
φ_1 [-]	0,62	0,62	0,68	0,65	0,73	0,69	0,63	0,72	0,64	0,69	0,64	0,68

Tab. 6.4.1.2. Pro deformační stopu šíře $b = 45$ mm

číslo vzorku	2,1				2,2				2,3			
bod na vzorku	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
L_2 [mm]	1,50	1,45	1,50	1,52	1,47	1,51	1,47	1,50	1,53	1,50	1,52	1,54
L_1 [mm]	3,90	4,13	4,13	4,10	4,16	4,18	3,86	3,90	3,80	4,01	4,18	3,96
φ_2 [-]	-0,29	-0,32	-0,29	-0,28	-0,31	-0,28	-0,31	-0,29	-0,27	-0,29	-0,28	-0,26
φ_1 [-]	0,67	0,72	0,72	0,72	0,73	0,74	0,66	0,67	0,64	0,70	0,74	0,68

Tab. 6.4.1.3. Pro deformační stopu šíře $b = 75$ mm

číslo vzorku	3,1				3,2				3,3			
bod na vzorku	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
L_2 [mm]	1,64	1,70	1,63	1,61	1,70	1,68	1,68	1,66	1,73	1,69	1,71	1,71
L_1 [mm]	3,80	3,62	3,80	3,88	3,64	3,62	3,74	3,79	3,68	3,76	3,73	3,76
φ_2 [-]	-0,20	-0,16	-0,21	-0,22	-0,16	-0,18	-0,17	-0,19	-0,15	-0,17	-0,16	-0,15
φ_1 [-]	0,64	0,59	0,64	0,66	0,60	0,59	0,63	0,64	0,61	0,63	0,62	0,63

Tab. 6.4.1.4. Pro deformační stopu šíře $b = 120$ mm

číslo vzorku	4,1				4,2				4,3		
bod na vzorku	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
L_2 [mm]	1,83	1,86	1,84	1,87	1,89	1,90	1,85	1,90	1,80	1,82	1,82
L_1 [mm]	3,26	3,17	3,23	3,17	3,17	3,27	3,22	3,22	3,31	3,35	3,33
φ_2 [-]	-0,09	-0,07	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	-0,08	-0,05	-0,10	-0,10	-0,10
φ_1 [-]	0,49	0,46	0,48	0,46	0,46	0,49	0,48	0,48	0,50	0,52	0,51

Tab. 6.4.1.5. Pro deformační stopu šíře $b = 150$ mm

číslo vzorku	5,1				5,2				5,3			
bod na vzorku	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
L_2 [mm]	2,09	2,08	2,04	2,04	2,08	2,14	2,14	2,16	2,16	2,17	2,13	
L_1 [mm]	3,09	3,25	3,21	3,14	2,97	2,95	2,93	2,99	3,00	3,04	3,17	
φ_2 [-]	0,05	0,04	0,02	0,02	0,04	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	
φ_1 [-]	0,43	0,49	0,47	0,45	0,39	0,39	0,38	0,40	0,41	0,42	0,46	

Tab. 6.4.1.6. Pro deformační stopu šíře $b = 210$ mm

Číslo vzorku	6,1						6,2					
bod na vzorku	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
L_2 [mm]	3,04	2,93	3,07	2,88	2,86	2,99	3,15	3,13	3,00	3,28	3,35	3,41
L_1 [mm]	3,19	3,28	3,27	3,14	3,23	3,20	3,08	3,17	3,23	3,17	3,16	3,04
φ_2 [-]	0,42	0,38	0,43	0,37	0,36	0,40	0,46	0,45	0,40	0,49	0,52	0,53
φ_1 [-]	0,47	0,49	0,49	0,45	0,48	0,47	0,43	0,46	0,48	0,46	0,46	0,42

Číslo vzorku	6,3			
bod na vzorku	1	2	3	4
L_2 [mm]	3,09	3,25	3,03	2,81
L_1 [mm]	3,07	3,07	3,13	3,17
φ_2 [-]	0,43	0,49	0,42	0,34
φ_1 [-]	0,43	0,43	0,45	0,46

Tabulka z měření na systému ARGUS 4M

Číslo vzorku	1					2				
φ_2 [-]	-0,200	-0,200	-0,203	-0,198	-0,200	-0,188	-0,193	-0,193	-0,182	-0,180
φ_1 [-]	0,520	0,500	0,509	0,489	0,489	0,445	0,445	0,440	0,450	0,447

Číslo vzorku	3					4				
φ_2 [-]	-0,100	-0,102	-0,102	-0,104	-0,104	-0,010	-0,011	-0,011	-0,012	-0,010
φ_1 [-]	0,455	0,455	0,460	0,460	0,462	0,360	0,367	0,360	0,358	0,357

Číslo vzorku	5					6				
φ_2 [-]	0,150	0,151	0,150	0,153	0,152	0,450	0,454	0,455	0,450	0,445
φ_1 [-]	0,400	0,395	0,390	0,400	0,380	0,525	0,505	0,507	0,530	0,520

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 23.5.2008

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 23.5.2008

Signature